

政府和社会资本合作项目施工外包模式及合同选择

冯 卓¹, 宋金波¹, 冯 晴¹, 潘 凯²

(1. 大连理工大学经济管理学院, 辽宁 大连 116024; 2. 中国石油规划总院, 北京 100083)

摘要: 在政府和社会资本合作(public-private partnership, PPP) 项目中, 项目公司具有两种施工任务外包模式, 一是纵向外包模式, 即将施工任务外包给项目公司成员之外的承包商, 二是横向外包模式, 即将施工任务外包给项目公司成员. 在任一外包模式下, 项目公司均可以采用固定总价合同或成本加酬金合同. 本文研究项目公司对于合同类型及施工外包模式的选择问题, 通过建立项目公司与承包商的Stackelberg 博弈模型, 发现项目公司对于合同类型的选择取决于固定总价合同和成本加酬金合同下的固定报酬之差, 当该报酬差足够大时, 项目公司应当选择成本加酬金合同, 否则, 应当选择固定总价合同. 进一步分析了影响项目公司合同类型选择的关键因素, 包括项目单位时间的运营收益以及成本加酬金合同下的激励系数等. 关于两种外包模式之间的比较, 研究发现横向外包模式能给项目公司带来更高的收益.

关键词: PPP; 外包模式; 合同类型

中图分类号: F224

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2026)01-0001-14

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2026.01.001

Decision of the outsourcing model of construction task and the contract types in public-private partnership projects

Feng Zhuo¹, Song Jinbo¹, Feng Qing¹, Pan Kai²

(1. School of Economics and Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. China Petroleum Planning and Engineering Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: In public-private partnership (PPP) projects, when the project company contracts out the construction task, it can adopt either the horizontal outsourcing model or the vertical outsourcing model, under the former of which the project company contracts with a contractor who is not the member of the project company while under the latter the project company contracts with one of its members. No matter which outsourcing model is used, the contract type can be either the fixed price contract or the cost plus contract. We study the decision of the project company on contract type and outsourcing model. By building a Stackelberg game model between the project company and the contractor, we find that the project company's decision on contract type depends on the difference between the fixed payment to the contractor under the two contract types. Specifically, if the difference is sufficiently large, then the cost plus contract should be adopted and otherwise, the fixed price contract adopted. We have further analyzed key factors in affecting the project company's decision including the operation revenue in unit time and the incentive coefficient under cost plus contract. Regarding the comparison between the two outsourcing model, we find that horizontal outsourcing typically leads to higher benefits for the project company.

Key words: PPP; outsourcing model; contract type

1 引言

政府和社会资本合作(public-private partnership, PPP)模式在基础设施项目中应用越来越广泛. 在PPP模式下, 政府通过与社会资本签订特许经营协议, 使社会资本在特许期内负责项目的融资、建设和运营, 社会资本通过后期的运营收入或政府补贴来弥补前期投资并获得利润. 相比于传统项目交付模式, PPP模式具有减轻政府财政负担、提高基础设施供给效率、促使政府角色转变等优点^[1,2]. 我国政府也在采取多种措施鼓励社会资本通过PPP模式参与到基础设施供给中, 李克强总理在2021年政府工作报告中指出要“完善支持社会资本参与政策, 进一步拆除妨碍民间投资的各种藩篱, 在更多领域让社会资本进得来、能发展、有作为”.¹十四五规划纲要指出要“规范有序推进政府和社会资本合作(PPP)”.²财政部“全国PPP综合信息平台”的数据显示, 截至2021年12月, 平台已收录PPP项目10 164个, 总投资达15.98万亿人民币, 项目涵盖环境保护、交通运输、市政工程等多个领域.³

对于PPP项目, 为了实现项目融资并保证项目的顺利进行, 项目发起人通常会组建项目公司, 在项目完成融资并进入到建设阶段后, 项目公司通常将建设阶段的施工任务以总承包的方式外包给一家承包商来完成. 在实践中, 施工外包可以采用纵向外包或横向外包两种模式. 纵向外包指项目公司将施工任务外包给项目公司成员之外的承包商, 如在安徽省合肥第二发电厂项目中, 新加坡联合电力有限公司等五家公司中标后组成项目公司, 完成融资后, 项目公司将施工任务外包给ABB德国等承包商进行建设^[3]; 在成都自来水六厂项目中, 法国通用水务和日本红丸公司组成项目公司, 完成融资后, 项目公司将施工任务外包给威立雅集团^[4]. 横向外包指项目公司将施工任务外包给项目公司的成员之一, 例如, 在广西来宾电厂项目中, GEC阿尔斯通和法国电力公司共同组成项目公司, 双方又成立施工联合体负责项目的施工任务^[4]; 在印尼Paiton电厂项目中, 三井物产与另外三个发起人组成项目公司, 三井物产同时承担施工任务^[4].

无论是采用何种施工外包模式, 项目公司在与承包商签订合同时, 既可以采用固定总价合同, 又可以采用成本加酬金合同. 在固定总价合同下, 无论承包商的实际施工成本是多少, 项目公司支付给承包商的报酬是固定的; 在成本加酬金合同下, 为了避免承包商任意增加成本, 项目公司通常会在合同中设置一定程度的激励性条款, 即设置一个目标成本上限, 如果实际施工成本低于目标成本, 那么承包商除了可以获得实际成本补偿外, 还可以获得一定比例的成本节省; 反之, 双方共担成本超支部分.

学者们对固定总价合同和成本加酬金合同的讨论大多以一般工程项目为背景, 并通常聚焦于两种合同类型对于承包商降低施工成本的激励作用. 然而, 在PPP项目这一特殊情境下, 不同合同类型都可以对承包商缩短施工工期起到一定的激励作用, 使项目尽早进入运营阶段, 最终提高项目公司的运营收益. 基于此, 通过考虑两种合同类型对于承包商施工工期的激励作用, 本文研究项目公司合同类型的决策问题, 并在此基础上研究项目公司最优的施工外包模式.

虽然学者们对施工外包已经进行了大量的研究, 但这些研究更多基于一般工程项目, 在这些项目中, 业主和承包商的目标通常具有异质性, 这就意味着一般工程项目的施工外包更多为纵向外包, 但是在PPP项目这一特殊情境下, 如果采用横向外包, 项目公司与承包商之间呈现一定程度的目标一致性. 因此, 针对PPP项目这一特殊项目类型进行两种施工外包模式的比较, 体现了本文的第一个贡献. 进一步地, 本文研究了PPP项目施工合同类型之间的比较, 尽管学者们对PPP项目的合约设计已经进行了大量的研究, 但这些研究更多聚焦于政府和社会资本之间的合约设计, 项目公司和承包商之间的合约设计还鲜有关注, 虽然学者们对一般工程项目中的固定总价合同和成本加酬金合同进行了大量研究, 但这些结论很难直接借鉴到PPP项目这一特殊情境下, 这是因为对于PPP项目, 项目公司在对合同类型进行选择时, 除了需要考虑其

¹中华人民共和国中央人民政府, 政府工作报告(全文), <http://www.gov.cn/guowuyuan/zfgzbg.htm>

²中华人民共和国中央人民政府, “十四五”规划和2035年远景目标纲要, http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm

³财政部政府和社会资本合作中心, <https://www.cpppc.org:8082/inforpublic/homepage.html#/projectPublic>

对于项目成本的影响外, 还需要考虑其对于施工工期的影响, 这直接影响项目公司所能获得的运营收益. 虽然一般项目中的合同选择也会影响承包商的施工工期, 但因为项目建完之后完全由业主运营至项目寿命结束, 从而工期的缩短对业主的实际运营期影响较小, 因此文献中更多强调其对于项目成本的影响^[5,6]. 而对于PPP项目, 由于项目公司的特许期是一定的, 这意味着更短的工期将导致项目公司更长的运营期, 从而更多的运营收益. 针对PPP项目这一特殊项目类型进行两种施工合同类型之间的比较, 这是本文的第二个贡献.

如何对施工外包模式及合同类型进行选择也是PPP项目实践中面临的重要问题, 作者在写作过程中对来自中国港湾及招商局集团的部分PPP实践从业人员进行了深入的访谈, 发现实践中对于施工外包模式及合同类型的选择存在较大的随意性, 并不能根据项目实际情况的不同而进行相应的决策. 虽然在一般工程项目所积累的经验可以提供一些借鉴, 但这些经验的可靠性还有待验证.

基于此, 本文主要回答两个研究问题: 1) 项目公司在每种外包模式下如何选择最优合同类型? 2) 项目公司如何选择最优的外包模式? 为此, 首先, 本文通过建立Stackelberg 博弈模型, 将项目公司作为领导者在每种外包模式下决定施工合同类型, 承包商作为追随者在给定的合同类型下决定自身的努力水平以缩短工期, 从而给出每种外包模式下项目公司的最优合同类型; 在此基础上, 本文识别并比较一些关键影响因素对项目公司合同类型选择的影响; 最后, 本文给出项目公司的最优外包模式决策.

通过研究发现, 在给定外包模式下, 项目公司对于固定总价合同和成本加酬金合同的选择取决于两种合同之间的固定报酬之差这一关键因素, 而且运营收益的不同直接影响项目公司对于两种合同类型的选择, 这个结论区别于一般项目中所强调的两种合同类型下施工成本的差异这一影响因素. 此外, 本文还发现在最优合同类型下, 项目公司更应当倾向于选择横向分包模式, 这一发现也解释了实践中很多施工企业参与PPP项目公司组建的做法. 由于施工外包模式是在PPP项目这一独特情境下的决策问题, 因此这个结论也是区别于之前文献的重要发现.

2 文献综述

与本文研究密切相关的三类文献为PPP项目合约设计研究、固定总价合同与成本加酬金合同的比较研究、外包模式选择研究. 在PPP项目合约设计研究方面, 学者们已经开展了大量的工作, 侧重于研究PPP 合约关键变量的决策问题. Guo和Yang 研究了在保证社会资本参与约束下, 政府如何对PPP道路容量、特许期长度以及收费价格等进行同时决策^[7]; Engel 等指出柔性特许期可以减少政府和社会资本再谈判的发生, 并提出了一种柔性特许期的设计机制^[8,9]; Tan 等建立了一个双目标规划模型, 通过考虑政府和社会资本目标的异质性, 分析了帕累托有效合约的性质^[10]; Niu和Zhang 进一步研究了需求不确定对特许期长度及收费价格等关键合约变量的影响^[11]; Wang 等研究了基于需求的补贴对PPP项目收费价格、需求量及特许期长度等的影响^[12]; 秦旋和吴孝灵等学者分别利用蒙特卡洛模拟以及Stackelberg 博弈等方法研究了PPP项目特许期长度的决策问题^[13,14]; 冯卓等通过对不同特许期结构下的社会资本收益、消费者剩余以及社会福利进行比较, 研究了政府对于特许期结构的选择问题^[15]; 高颖等研究了当PPP项目在运营期间出现需求量下降时, 政府如何对企业进行补偿^[16]. 与之前的文献相比, 本文的侧重点有所不同. 具体而言, 之前的文献更多聚焦于政府与社会资本之间的合约关系, 而本文则侧重于项目公司与承包商之间的合约关系, 通过研究不同外包模式下的项目公司最优合同类型, 进而探究项目公司的最优外包模式.

在固定总价合同与成本加酬金合同的比较方面, 学者们通过考虑不同的影响因素, 得到很多创新性结论. McAfee 和McMillan 通过考虑承包商的风险厌恶行为, 在委托代理框架下, 比较了不同合同类型对于成本激励和风险分担的影响, 发现固定总价合同更容易实现两个维度的平衡^[17]. Bajari 和Tadelis 通过考虑固定总价合同和成本加酬金合同在再谈判过程中所引发的交易成本的不同, 发现项目越复杂, 越应当采用成本加酬金合同^[5]. Corts 进一步研究了业主和承包商之间的重复交易对合同类型选择的影响^[18]. Lippman等将纳什谈判框架引入到项目合同类型的选择中, 发现成本加酬金合同更有利于激励承包商付出努力以降低

项目所面临的不确定性^[6]. Kwon 等考虑了项目完工时间的不确定性以及承包商工作效率的不可观测性, 发现固定总价合同和成本加酬金合同都无法实现项目供应链的协调^[19]. 与之前学者们通常聚焦于一般工程项目不同, 本文在 PPP 项目这一特殊情境下进行固定总价合同与成本加酬金合同的比较, 通过考虑两种合同类型对项目运营期长短的影响, 探究项目公司最优的合同类型选择.

在外包模式选择方面, 学者们更多聚焦于供应链管理领域的研究. Wang 等在三级供应链情境下比较了推式合同(Push contract)和拉式合同(Pull contract)对于外包模式选择的影响^[20]. Li 和 Jiang 在需求不确定下, 比较了横向分包的远期合约和现期合约^[21]. Arya 等发现外包模式的不同可能推翻双寡头垄断竞争的一些传统结论^[22]. Kouvelis 和 Milner 研究了需求和供应双重不确定性对多阶段供应链外包决策的影响^[23]. Bian 等在不同的供应链权力结构下, 研究了服务外包对于价格和服务水平等供应链决策的影响^[24]. 尽管学者们在供应链管理领域对外包模式已经进行了大量的研究, 但还很难将这些讨论直接移植到 PPP 项目这一特殊情境下, 一方面, 项目公司和承包商之间不存在直接的市场竞争关系; 另一方面, 固定总价合同和成本加酬金合同更广泛应用于工程项目建设领域.

3 模型构建及求解

在某一 PPP 项目中, 项目公司既可以将建设阶段的任务外包给项目公司成员, 又可以将其外包给项目公司成员之外的其他承包商, 为了表述方便, 本文将两种外包方式分别定义为横向外包和纵向外包. 项目公司在进行施工任务外包时, 既可以选择固定总价合同, 又可以选择成本加酬金合同. 本部分通过建立博弈模型分析项目公司的外包方式及合同类型选择问题.

在任何一种外包方式或合同类型下, 假设项目的建设期为 t , 承包商需要承担的单位时间建设成本为 C_v . 为了节省建设成本, 承包商可能会付出努力以缩短工期, 如果承包商所付出的努力水平为 e , 则其努力成本为 $\bar{C}(e)$, 可缩短的工期为 $\bar{t}(e)$. 根据文献中的一般假设^[15,25], 承包商努力的边际成本上升以及边际收益下降, 即 $\frac{d\bar{C}(e)}{de} > 0$, $\frac{d^2\bar{C}(e)}{de^2} > 0$ 以及 $\frac{d\bar{t}(e)}{de} > 0$, $\frac{d^2\bar{t}(e)}{de^2} < 0$. 为了讨论的方便, 令 $\bar{C}(e) = \frac{1}{2}e^2$ 及 $\bar{t}(e) = \gamma e^{\frac{1}{2}}$. 进一步假设 $\gamma e^{\frac{1}{2}} \leq \Delta t \leq t$, 即承包商的努力水平最多可以缩短工期 Δt , 从而保证缩短后的工期仍为正, 即 $t - \gamma e^{\frac{1}{2}} > 0$. 此外, 假设该 PPP 项目的运营期为 T , 如果建设期缩短, 运营期相应延长. 需要指出的是, 本文将主要针对单阶段特许期结构下的项目公司决策行为进行分析, 拓展研究将分析两阶段特许期结构下的项目公司决策行为. 在单阶段特许期结构下, 政府规定一个总的特许期, 从而建设期的缩短会导致运营期的延长, 而在两阶段特许期结构下, 政府分别规定建设期和运营期, 从而建设期缩短并不会导致运营期长短的变化. 同时, 假设项目公司在运营期间内的单位时间运营收益为 R .

3.1 纵向外包下项目公司的合同类型选择决策

首先对纵向外包下项目公司的合同类型选择决策进行分析. 在纵向外包下, 项目公司将建设阶段任务外包给项目公司成员之外的承包商, 如果项目公司采用固定总价合同, 合同价格为 P_f , 那么承包商的利润函数可以表示为

$$\Pi_f^v = P_f - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v - \frac{1}{2}e^2,$$

其中第二项为承包商的建设成本, 第三项为承包商的努力成本.

因此, 承包商的最优努力水平 e_f^v 满足以下一阶条件

$$\frac{d\Pi_f^v}{de_f^v} = \frac{1}{2}\gamma(e_f^v)^{-\frac{1}{2}}C_v - e_f^v = 0.$$

从而得到 $e_f^v = (\frac{1}{2}\gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$. 为了讨论的方便, 假设承包商最优的努力水平满足 $(\frac{1}{2}\gamma C_v)^{\frac{2}{3}} \leq (\frac{\Delta t}{\gamma})^2$, 即在最

优努力水平下, 缩短的工期 $\gamma(\frac{1}{2}\gamma C_v)^{\frac{1}{3}}$ 不会超过 Δt . 在承包商最优的努力水平下, 项目公司的利润函数为

$$U_f^v = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2} \gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) - P_f,$$

其中第一项为项目公司所获得的运营收益, 第二项为项目公司支付给承包商的合同额.

如果采用成本加酬金合同, 项目公司通常会施加一定程度的激励促使承包商降低建设成本. 具体而言, 项目公司首先规定一个成本上限 P_c , 如果承包商的实际成本低于该成本上限, 那么承包商除了可以获得成本补偿外, 还可以获得一部分的成本节省, 假设承包商所获得的成本节省比例为 α , 其中 $0 < \alpha \leq 1$, 那么 α 越大, 承包商所获得的成本节省部分的比例越高. 当 $\alpha = 0$, 承包商只能获得实际成本补偿. 随着 α 的变大, 承包商获得成本节省的比例也越来越高, 从而在给定努力水平下, 承包商的总收益也在不断提高. 因此, α 可以反映成本加酬金合同下的激励系数. 需要指出的是, 由于承包商的努力成本是不可测量的, 因此承包商的成本补偿及成本节省计算都是基于承包商的实际建设成本 $(t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v$. 从而, 承包商在成本加酬金合同下的收益为 $(t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v + \alpha (P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v)$, 承包商在成本加酬金合同下的利润函数可以表示为

$$\Pi_c^v = (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v + \alpha (P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v) - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v - \frac{1}{2}e^2 = \alpha (P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v) - \frac{1}{2}e^2.$$

与固定总价合同下的承包商利润 Π_f^v 相比, 承包商在成本加酬金合同下的利润 Π_c^v 并没有包括由于工期缩短所导致的成本节省部分, 这是因为在成本加酬金合同下, 承包商的实际成本能得到完全补偿, 除此之外, 承包商还能得到一部分基于其实际成本的比例酬金. 同样, 承包商的最优努力水平 e_c^v 满足一阶条件

$$\frac{d\Pi_c^v}{de_c^v} = \frac{1}{2}\alpha\gamma(e_c^v)^{-\frac{1}{2}}C_v - e_c^v = 0.$$

从而得到 $e_c^v = (\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$. 在承包商最优的努力水平下, 项目公司的利润函数可以表示为

$$U_c^v = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2} \alpha \gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) - (1 - \alpha) \left(t - \left(\frac{1}{2} \alpha \gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) C_v - \alpha P_c,$$

其中第一项为项目公司所获得的运营收益, 第二项和第三项分别为项目公司支付给承包商的实际成本补偿及酬金.

命题 1 当项目公司采用纵向外包时, 固定总价合同与成本加酬金合同的比较如下:

- 1) 承包商在成本加酬金合同下所付出的努力更小, 从而固定总价合同导致更短的工期.
- 2) 存在 ΔP_v , 当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_v$ 时, 项目公司应当选择成本加酬金合同; 否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_v$ 时, 项目公司应当选择固定总价合同.

根据命题1, 承包商在成本加酬金合同下更不愿意付出努力来缩短工期, 从而导致更长的工期. 这是因为在两种合同下, 承包商都需要承担工期缩短所引发的努力成本, 在成本加酬金合同下, 承包商只能获得部分由于工期缩短所节省的建设成本, 而在固定价格合同下, 承包商可以获得全部由于工期缩短所节省的建设成本. 注意到在成本加酬金合同下, 承包商所获得的收益可以进一步表示为 $\alpha P_c + (1 - \alpha)(t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v$, 因此, αP_c 为承包商在成本加酬金合同下所获得的固定报酬. 从而, 命题1进一步表明, 项目公司关于合同类型的选择取决于两种合同的固定报酬之差 $P_f - \alpha P_c$, 具体而言, 当该报酬之差足够高时, 项目公司应当选择成本加酬金合同, 否则, 项目公司应当选择固定价格合同.

命题 2 1) ΔP_v 是 R 的增函数. 2) ΔP_v 是 α 的减函数.

命题2表明, 单位时间的运营收益越大, ΔP_v 也越大, 这意味着项目公司也越应当选择固定价格合同, 这是因为根据命题1, 承包商在固定价格合同下用于缩短建设期的努力较大, 导致项目公司在该合同类型下有较长的运营期, 从而单位时间的运营收益越大, 项目公司越倾向于选择固定价格合同. 命题2进一步表明, 成本加酬金合同下的激励系数越大, ΔP_v 越小, 这也意味着项目公司越应当选择成本加酬金合同. 同样, 激励

系数越大, 承包商在成本加酬金合同下用于缩短建设期的努力也越大, 从而使得项目公司越倾向于选择成本加酬金合同.

3.2 横向外包下项目公司的合同类型选择决策

在横向外包下, 项目公司将建设阶段的任务外包给作为项目公司成员承包商, 因此, 承包商在横向分包下将承担两种角色: 项目的投资者以及项目的施工方, 从而承包商的收益来源也相应包括项目的投资收益以及施工利润. 假设承包商在项目公司的股权比例为 β , 其中 $0 < \beta \leq 1$, 那么在固定总价合同下, 承包商的利润函数为

$$\Pi_f^h = P_f - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v - \frac{1}{2}e^2 + \beta \left(R(T + \gamma e^{\frac{1}{2}}) - P_f \right),$$

其中 $\beta \left(R(T + \gamma e^{\frac{1}{2}}) - P_f \right)$ 为承包商的投资收益, $P_f - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v - \frac{1}{2}e^2$ 为承包商的施工利润.

承包商的最优努力水平 e_f^h 满足一阶条件

$$\frac{d\Pi_f^h}{de_f^h} = \frac{1}{2}\gamma(e_f^h)^{-\frac{1}{2}}C_v - e_f^h + \frac{1}{2}\beta R\gamma(e_f^h)^{-\frac{1}{2}} = 0,$$

从而可以得到 $e_f^h = \left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{\frac{2}{3}}$. 同样, 为了讨论方便, 假设承包商最优的努力水平满足

$$\left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{\frac{2}{3}} \leq \left(\frac{\Delta t}{\gamma} \right)^2,$$

即在最优努力水平下, 缩短的工期 $\gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{\frac{1}{3}}$ 不会超过 Δt .

在承包商最优的努力水平下, 项目公司的利润函数为

$$U_f^h = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{\frac{1}{3}} \right) - P_f,$$

其中第一项为项目公司所获得的运营收益, 第二项为项目公司支付给承包商的合同额.

如果项目公司采用成本加酬金合同, 那么承包商的利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi_c^h &= (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v + \alpha \left(P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v \right) + \beta \left(R(T + \gamma e^{\frac{1}{2}}) - \alpha P_c - (1 - \alpha)(t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v \right) - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v - \frac{1}{2}e^2 \\ &= \alpha \left(P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v \right) - \frac{1}{2}e^2 + \beta \left(R(T + \gamma e^{\frac{1}{2}}) - \alpha P_c - (1 - \alpha)(t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v \right), \end{aligned}$$

其中 $\beta \left(R(T + \gamma e^{\frac{1}{2}}) - \alpha P_c - (1 - \alpha)(t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v \right)$ 为承包商的投资收益, $\alpha \left(P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v \right) - \frac{1}{2}e^2$ 为承包商的施工利润.

承包商的最优努力水平 e_c^h 满足一阶条件

$$\frac{d\Pi_c^h}{de_c^h} = \frac{1}{2}\alpha\gamma C_v(e_c^h)^{-\frac{1}{2}} - e_c^h + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1 - \alpha)\gamma C_v \right) (e_c^h)^{-\frac{1}{2}} = 0,$$

从而可以得到 $e_c^h = \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1 - \alpha)\gamma C_v \right) \right)^{\frac{2}{3}}$. 在承包商最优努力水平下, 项目公司的利润函数为

$$U_c^h = R(T + \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}) - (1 - \alpha)(t - \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}})C_v - \alpha P_c,$$

其中第一项为项目公司所获得的运营收益, 第二项和第三项分别为项目公司支付给承包商的实际成本补偿及酬金.

命题 3 1) $e_f^h \geq e_c^h$ 并且 $e_f^h \geq e_f^v$, $e_c^h \geq e_c^v$, 从而固定总价合同导致更短的工期, 并且相比于纵向外包, 横向外包下任一合同类型下的工期更短. 此外, $e_c^h - e_c^v \geq e_f^h - e_f^v$.

2) 存在 $\Delta P_h \leq \Delta P_v$, 当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_h$ 时, 项目公司应当选择激励性成本加酬金合同; 否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_h$ 时, 项目公司应当选择固定总价合同.

命题3表明,在横向外包下,固定总价合同依然激励承包商付出更多努力以缩短建设期,即固定总价合同下的工期更短,其原因与命题1类似.命题3进一步表明相比于纵向外包,承包商在横向外包下会进一步提高努力水平以缩短工期,这是因为除了施工利润外,承包商在横向外包下还会获得一部分投资收益,而该投资收益随着工期的缩短而增加.命题3还表明,相比于纵向外包,虽然横向外包使得承包商在两种合同类型下都会增加努力,但承包商在成本加酬金合同下所增加的努力水平更多.这是因为在固定总价合同下,项目公司支付给承包商的报酬是固定的,而在成本加酬金合同下,承包商可以增加更多努力降低建设期成本,从而可以获得更多的投资收益.

命题3的第二部分表明在横向外包下,承包商对于固定价格合同和成本加酬金合同的选择同样依赖于两种合同下的固定报酬之差,具体而言,当固定价格合同下的固定报酬足够大时,项目公司应当选择成本加酬金合同,而当成本加酬金合同下的固定报酬足够大时,项目公司应当选择固定价格合同.命题3进一步表明,横向外包下两种合同比较的临界值要小于纵向外包,这也意味着在横向外包下,项目公司更倾向于选择成本加酬金合同.

命题 4 1) 存在 $\beta_1 < \beta_2$, 当 $\beta \leq \beta_1$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{dR} \geq 0$, 当 $\beta \geq \beta_2$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{dR} \leq 0$.
2) $\frac{d\Delta P_h}{d\alpha} \leq \frac{d\Delta P_h}{d\alpha} \leq 0$. 3) $\frac{d\Delta P_h}{d\beta} \leq 0$.

与命题2不同,命题4表明,在横向外包下,单位时间运营收益 R 对 ΔP_h 的影响取决于承包商在项目公司中投资比例 β 的大小,当 β 较小时, ΔP_h 是 R 的增函数,从而单位时间的运营收益越大, ΔP_h 也越大,从而项目公司越倾向于选择固定总价合同;而当 β 较大时, ΔP_h 是 R 的减函数,从而单位时间的运营收益越大, ΔP_h 越小,项目公司越倾向于选择成本加酬金合同.这是因为在横向外包下,承包商的努力一方面用于降低建设成本,一方面用于提高投资收益,当 β 较小时,降低建设成本的努力占主导作用,又由于固定总价合同下的努力水平较高,从而工期缩短更多,因此, R 越大,项目公司越倾向于选择固定总价合同;而当 β 较大时,提高投资收益的努力占主导作用,随着 R 的增大,两种合同类型下的努力水平差距越来越小,因此项目公司越来越倾向于选择成本加酬金合同.

命题4的第二部分表明成本加酬金合同激励性系数越大, ΔP_h 越小,从而项目公司越倾向于选择成本加酬金合同,其原因与命题2所述相似.命题4的第二部分还表明相比于纵向外包,项目公司在横向外包下选择不同合约类型的边界值不太易受激励系数的影响,这是因为在横向外包下,项目公司和承包商的目标具有一定程度的一致性.

命题4的第三部分表明承包商的投资收益比例越高, ΔP_h 越小,项目公司也越倾向于选择成本加酬金合同,这是因为 β 越大,项目公司和承包商之间的目标一致性程度也越高,根据承包商的利润函数表达式,由于 β 越大,承包商在成本加酬金合同下所获得的收益相比于固定总价合同也越高,因此,项目公司越倾向于选择成本加酬金合同.

3.3 项目公司施工外包模式比较研究

以上研究分别在横向外包和纵向外包下给出项目公司最优的合同类型,下列命题进一步比较了项目公司最优的施工外包模式.

命题 5 在项目公司最优合同类型下,项目公司在横向外包下可以获得更高的收益.

虽然项目公司在不同的外包模式下可以采用不同的合同类型,但是命题5表明无论采用何种合同类型,项目公司采用横向外包通常能获得较高的收益,这主要因为横向外包在一定程度上确保了项目公司和承包商之间利益的一致性,从而命题5也解释了在实践中很多承包商作为联合体成员共同参与项目投标的现象.这一方面有利于承包商在施工利润外获得一部分投资收益,另一方面也有利于项目公司总体收益的提高.

4 算例

为了使本文主要的分析结果更为直观, 本部分对项目公司的合同类型及外包模式决策进行数值模拟和分析.

1) 纵向外包下项目公司的合同类型选择决策. 假设PPP项目的建设期为 $t = 5$, 运营期为 $T = 20$, 在建设期内每年的建设成本为 $C_v = 500$, 运营期内每年的运营收入为 $R = 200$, 承包商付出努力 e 可缩短工期 $\frac{1}{2} \times 0.02 \times e^2$, 即 $\gamma = 0.02$, 在固定价格合同下, 承包商可以获得固定报酬 $P_f = 3\,000$, 在成本加酬金合同下, 项目公司所给予的激励系数为 $\alpha = 0.5$. 基于以上假设, 项目公司在固定价格合同和成本加酬金合同下的利润如图1所示, 从图上可以看出, 当 $P_f - \alpha P_c$ 较小时, 项目公司在固定价格合同下可以获得更高的收益, 从而应当选择固定价格合同, 否则, 项目公司应当选择成本加酬金合同, 从而验证了命题1. 当保持其他参数固定, 只允许 R 或 α 变动时, 图2进一步分别给出 ΔP_v 随 R 或 α 的变化情况. 从图上可以看出, ΔP_v 随 R 的增加而增加, 而随 α 的增加而降低, 从而验证了命题2.

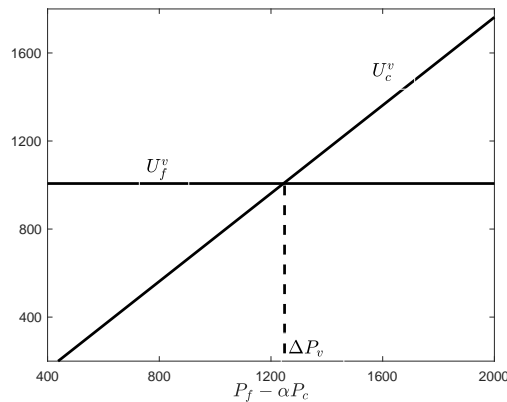


图 1 纵向外包模式下项目公司在两种合同类型下的收益比较

Fig. 1 The project company's profits under the two contract types under the vertical outsourcing model

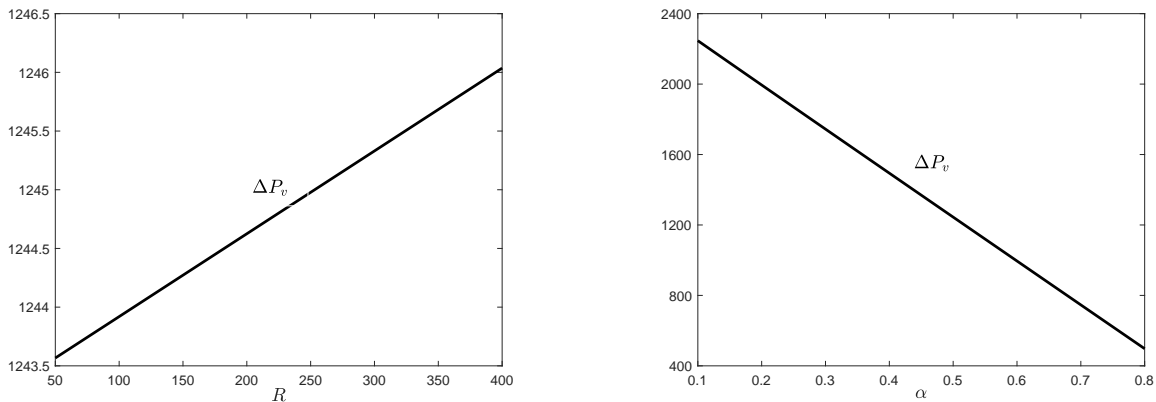


图 2 R 和 α 对 ΔP_v 的影响

Fig. 2 The impacts of R and α on ΔP_v

2) 横向外包下项目公司的合同类型选择决策. 横向外包下的参数表达式以及参数取值与纵向外包相同, 同时假设 $\beta = 0.7$, 图3比较了项目公司在两种合同类型下的收益. 由图3可知, 当 $P_f - \alpha P_c$ 较小时, 项目公司倾向于选择固定价格合同, 否则, 项目公司倾向于选择成本加酬金合同, 而且, 图3进一步表明 $\Delta P_h < \Delta P_v$,

这意味着项目公司在横向外包下更倾向于选择成本加酬金合同, 从而验证了命题3. 从图3 可以进一步看出项目公司在横向外包下可以获得更高的收益, 因此也验证了命题5.

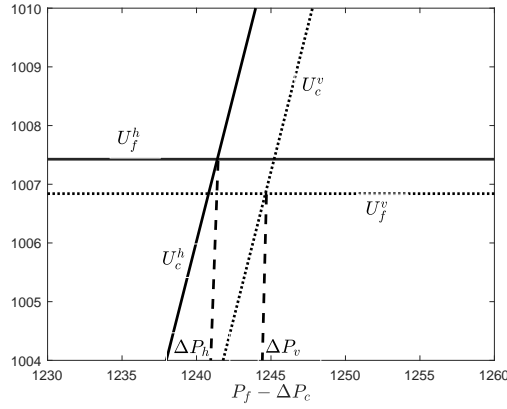


图 3 横向外包下项目公司在两种合同类型下的收益比较

Fig. 3 The project company's profits under the two contract types under the vertical outsourcing model

图4展示了 R 对 ΔP_h 的影响, 当 $\beta = 0.1$ 时, 从图4可以看出 ΔP_h 是 R 的增函数, 而当 $\beta = 0.7$ 时, ΔP_h 是 R 的减函数; 关于 α 对 ΔP_h 的影响, 固定 $\beta = 0.7$, 图5 表明 ΔP_h 是 α 的减函数; 固定 $\alpha = 0.5$, 图5 进一步表明 ΔP_h 也为 β 的减函数, 从而验证了命题4.

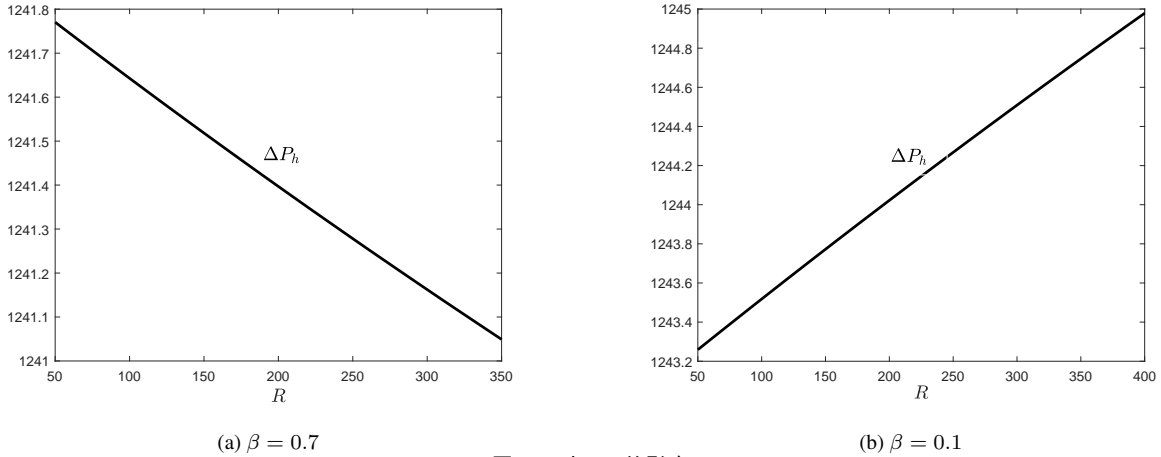


图 4 R 对 ΔP_h 的影响

Fig. 2 The impacts of R on ΔP_h

5 拓展研究

该拓展研究将在两阶段特许期结构下分析项目公司对于合同类型及施工外包模式的选择. 在两阶段特许期结构下, 政府对于建设期和运营期分别进行规定, 从而建设期的缩短并不会导致运营期的变化. 因此, 在纵向外包下, 如果项目公司采用固定总价合同, 合同价格为 P_f , 那么承包商的利润函数为

$$\Pi_f^v = P_f - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}})C_v - \frac{1}{2}e^2.$$

从而, 承包商的最优努力水平仍然为 $e_f^v = (\frac{1}{2}\gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$. 在承包商最优努力水平下, 项目公司的利润函数为

$$U_f^v = RT - P_f,$$

其中第一项为项目公司所获得的运营收益,其运营时间并不随建设期的缩短而延长,第二项仍然为项目公司支付给承包商的合同额.

如果项目公司采用成本加酬金合同,承包商的利润函数为

$$\Pi_c^v = \alpha \left(P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v \right) - \frac{1}{2} e^2.$$

同样,承包商的最优努力水平为 $e_c^v = (\frac{1}{2} \alpha \gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$. 在承包商最优的努力水平下,项目公司的利润函数为

$$U_c^v = RT - (1 - \alpha) \left(t - \left(\frac{1}{2} \alpha \gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) C_v - \alpha P_c.$$

命题 6 在两阶段特许期结构下,如果项目公司采用纵向外包,存在 $\Delta P_v^t \leq \Delta P_v$, 当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_v$ 时,项目公司应当选择成本加酬金合同;否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_v$ 时,项目公司应当选择固定总价合同.

在两阶段特许期结构下,如果项目公司采用纵向外包,命题6表明项目公司对于合同类型的选择仍然取决于两种合同的固定报酬之差 $P_f - \alpha P_c$. 命题6进一步表明,由于 $\Delta P_v^t \leq \Delta P_v$, 因此,相比于单阶段特许期结构,项目公司在两阶段特许期结构下更倾向于选择成本加酬金合同,这是因为项目公司的实际运营期并不随建设期的缩短而延长,从而减弱了固定总价合同在激励承包商提高努力水平方面的优势.

在横向外包下,如果项目公司采用固定总价合同,承包商的利润函数为

$$\Pi_f^h = P_f - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v - \frac{1}{2} e^2 + \beta (RT - P_f),$$

其中 $\beta (RT - P_f)$ 为承包商的投资收益, $P_f - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v - \frac{1}{2} e^2$ 为承包商的施工利润.

承包商的最优努力水平为 $e_f^h = (\frac{1}{2} \gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$. 在承包商最优努力水平下,项目公司的利润函数为

$$U_f^h = RT - P_f.$$

如果项目公司采用成本加酬金合同,承包商利润函数为

$$\Pi_c^h = \alpha \left(P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v \right) - \frac{1}{2} e^2 + \beta \left(RT - \alpha P_c - (1 - \alpha) (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v \right),$$

其中 $\beta \left(RT - \alpha P_c - (1 - \alpha) (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v \right)$ 为承包商的投资收益, $\alpha \left(P_c - (t - \gamma e^{\frac{1}{2}}) C_v \right) - \frac{1}{2} e^2$ 为承包商的施工利润.

承包商的最优努力水平为 $e_c^h = (\frac{1}{2} \alpha \gamma C_v + \frac{1}{2} \beta (1 - \alpha) \gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$. 在承包商最优努力水平下,项目公司的利润函数为

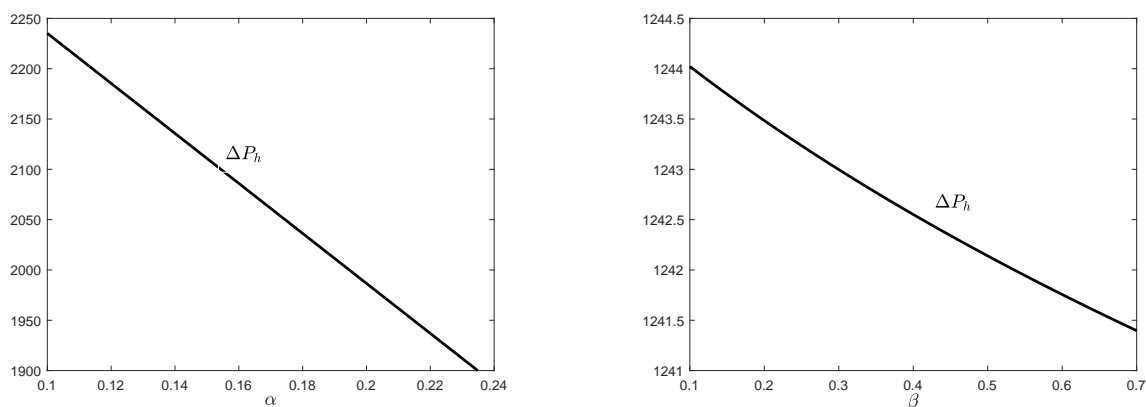
$$U_c^h = RT - (1 - \alpha) \left(t - \gamma (e_c^h)^{\frac{1}{2}} \right) C_v - \alpha P_c.$$

命题 7 1) 在两阶段特许期结构下,如果项目公司采用横向外包,存在 ΔP_h^t , 当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_h^t$ 时,项目公司应当选择成本加酬金合同;否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_h^t$ 时,项目公司应当选择固定总价合同.

2) 当 $\beta \leq \beta_1$ 时, $\Delta P_h \geq \Delta P_h^t$; 当 $\beta \geq \beta_2$ 时, $\Delta P_h \leq \Delta P_h^t$.

同样,对于横向外包,在两阶段特许期结构下,命题7表明项目公司对于合同类型的选择仍然取决于两种合同下的固定报酬之差. 命题7进一步表明,相比于单阶段特许期结构,当承包商的投资比例较小时,项目公司更倾向于选择成本加酬金合同,否则,项目公司更倾向于选择固定总价合同. 这是因为,当承包商的投资比例较小时,两阶段特许期结构削弱了固定总价合同在激励承包商提高努力水平方面的优势,从而使得项目公司更倾向于选择成本加酬金合同. 然而,当承包商的投资比例较大时,在单阶段特许期结构下,成本加酬金合同也能够激励承包商提高努力水平,由于项目公司在两阶段特许期结构下较少关心承包商的努力水平,因此,项目公司在两阶段特许期结构下此时将更倾向于选择固定总价合同.

关于项目公司对于横向外包和纵向外包两种外包模式的选择,采用与命题5相似的分析过程,依然可以证明项目公司在横向外包下可以获得更高的收益,这同样是因为横向外包在一定程度上保证了项目公司和承包商之间利益的一致性.

图 5 α 和 β 对 ΔP_h 的影响Fig. 5 The impacts of α and β on ΔP_h

6 结束语

在PPP项目中,项目公司既可以将建设阶段的施工任务外包给项目公司之外的成员,也可以将其外包给项目公司成员,本文分别将两种外包模式定义为横向外包和纵向外包,而在外包过程中,项目公司既可以采用固定总价合同,也可以采用成本加酬金合同.本文研究发现,在任何一种外包模式下,项目公司对于两种合同类型的选择依赖于两种合同下的固定报酬之差,具体而言,当该固定报酬差足够大时,项目公司应当选择固定总价合同,否则,项目公司应当选择成本加酬金合同.关于两种外包模式之间的比较,研究表明项目公司在横向外包模式下可以获得更高的收益.

本文进一步研究了一些关键参数对项目公司合同类型选择的影响,研究表明在横向外包下,单位时间的运营收益越高,项目公司越倾向于选择固定总价合同,而在纵向外包下,单位时间运营收益对项目公司合同类型选择的影响还取决于承包商的投资收益比例,当投资收益比例较小时,越高的单位时间运营收益促使项目公司越倾向于选择固定总价合同;而当投资收益比例较大时,越高的单位时间运营收益反而促使项目公司越倾向于选择成本加酬金合同.关于成本加酬金合同激励系数对项目公司合同类型选择的影响,研究表明在两种外包模式下,该激励系数越高,项目公司越倾向于选择成本加酬金合同.

本文的结论对于PPP项目实践也具有一定的启示意义.首先,在很多PPP项目中,项目公司通常认为固定总价合同会控制施工成本,而且在固定总价合同下,承包商会付出更多努力以缩短建设期,从而固定总价合同下的工期较短,但这并不意味着项目公司应当一直选择固定总价合同.本文的研究结论表明,项目公司对于固定总价合同和成本加酬金合同的选择决策取决于两种合同之间的固定报酬之差.如果该报酬之差较大,成本加酬金合同反而给项目公司带来更高的利润,因此,项目公司在选择两种合同类型时应谨慎决策;其次,对于一般性项目,两种合同类型之间的比较更多取决于成本这一因素,而在PPP项目中,本文结论表明一些情境性因素对于合同类型的选择发挥着关键性作用,本文揭示了单位时间的运营收益以及成本加酬金合同下的激励系数对于项目公司选择合同类型的影响,如较大的激励系数会促使项目公司倾向于选择成本加酬金合同等,因此,项目公司在进行两种合同类型选择时除了需要考虑一般性因素外,还需要着重考虑情境性因素的影响;最后,本文的研究结论表明,横向外包相比于纵向外包能给项目公司带来更高的收益,从而为实践中很多PPP项目将施工任务外包给联合体成员提供了一种解释,这也意味着PPP项目发起人在组建项目公司时,应尽可能吸引施工承包商的加入.

对本文模型及结论的扩展可以从两个方面进行:第一,本文假设项目公司在单位运营时间内的收益为固定,而PPP项目在实践中经常面临需求不确定的情况,从而导致项目公司的运营收入也会出现波动,在不确定需求下研究项目公司对于外包模式及合同类型的选择将会产生更丰富的结论;第二,本文主要聚焦于

承包商付出努力缩短建设期, 承包商还可能付出努力提高项目质量, 尤其是在横向外包模式下, 承包商作为PPP项目的投资者之一, 较高的项目质量有利于提高项目的未来需求从而提高项目的运营期收益. 当考虑承包商在项目质量维度的努力时, 本文的研究结论将如何发生变化, 还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] Qiu L D, Wang S. BOT projects: Incentives and efficiency. *Journal of Development Economics*, 2011, 94(1): 127–138.
- [2] Kwakv Y H, Chih Y, Ibbs C W. Towards a comprehensive understanding of public private partnerships for infrastructure development. *California Management Review*, 2009, 51(2): 51–78.
- [3] 赵 华, 苏卫国. 工程项目融资. 北京: 人民交通出版社, 2004.
Zhao H, Su W G. *Construction Project Finance*. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese)
- [4] 叶苏东. 项目融资: 理论、实务与案例. 北京: 清华大学出版社, 2010.
Ye S D. *Project Finance: Theory, Practice and Cases*. Beijing: Tsinghua University Press, 2010. (in Chinese)
- [5] Bajari P, Tadelis S. Incentives versus transaction costs: A theory of procurement contracts. *The RAND Journal of Economics*, 2001, 32(3): 20–36.
- [6] Lippman S A, McCardle K F, Tang C S. Using Nash bargaining to design project management contracts under cost uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 2013, 145(1): 199–207.
- [7] Guo X, Yang H. Analysis of a build-operate-transfer scheme for road franchising. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2009, 3(5-6): 312–338.
- [8] Engel E, Fischer R, Galetovic A. Highway franchising: Pitfalls and opportunities. *The American Economic Review*, 1997, 87(2): 68–72.
- [9] Engel E, Fischer R D, Galetovic A. Least-present-value-of-revenue auctions and highway franchising. *Journal of Political Economy*, 2001, 109(5): 993–1020.
- [10] Tan Z, Yang H, Guo X. Properties of Pareto-efficient contracts and regulations for road franchising. *Transportation Research, Part B: Methodological*, 2010, 44(4): 415–433.
- [11] Niu B, Zhang J. Price, capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, 2013, 53: 1–14.
- [12] Wang L, Shrestha A, Zhang W, et al. Government guarantee decisions in PPP wastewater treatment expansion projects. *Water*, 2020, 12(12): 20–35.
- [13] 秦 旋. 基于CAPM的BOT项目特许期的计算模型. *管理工程学报*, 2005, 19(2): 60–63.
Qin X. Quantitative concession period model for build operate transfer contract project based on CAPM. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2005, 19(2): 60–63. (in Chinese).
- [14] 吴孝灵, 周 晶, 洪 巍. 基于有效运营期的BOT项目特许权期决策模型. *系统工程学报*, 2011, 26(3): 373–378.
Wu X L, Zhou J, Hong W. Decision-making model on BOT project's concession period based on an efficient operational period. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(3): 373–378. (in Chinese)
- [15] 冯 卓, 张水波, 高 颖. BOT道路项目特许期结构比较研究. *系统工程学报*, 2016, 31(4): 451–459.
Feng Z, Zhang S B, Gao Y. Comparative analysis of concession structures of BOT road projects. *Journal of Systems Engineering*, 2016, 31(4): 451–459. (in Chinese)
- [16] 高 颖, 张水波, 冯 卓. PPP项目运营期间需求量下降情形下的补偿机制研究. *管理工程学报*, 2015, 29(2): 93–102.
Gao Y, Zhang S B, Feng Z. PPP projects: A study of compensation mechanism with unmet demand. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2015, 29(2): 93–102. (in Chinese)
- [17] McAfee R P, McMillan J. Bidding for contracts: A principal-agent analysis. *The RAND Journal of Economics*, 1986, 17(3): 45–60.
- [18] Corts K S. The interaction of implicit and explicit contracts in construction and procurement contracting. *Journal of Law Economics & Organization*, 2012, 28(3): 550–568.
- [19] Kwon H D, Lippman S A, Tang C S. Optimal time-based and cost-based coordinated project contracts with unobservable work rates. *International Journal of Production Economics*, 2010, 126(2): 247–254.
- [20] Wang Y, Niu B, Guo P. The comparison of two vertical outsourcing structures under push and pull contracts. *Production and Operations Management*, 2013, 20(4): 24–40.
- [21] Li L, Jiang L. Horizontal subcontracting from competitors: When and what. *Production and Operations Management*, 2018, 27(7): 1320–1333.
- [22] Arya A, Mittendorf B, Sappington D E M. Outsourcing, vertical integration, and price vs. quantity competition. *International Journal of Industrial Organization*, 2008, 26(1): 1–16.

- [23] Kouvelis P, Milner J M. Supply chain capacity and outsourcing decisions: The dynamic interplay of demand and supply uncertainty. IIE Transactions, 2002, 34(8): 717–728.
- [24] Bian J, Lai K K, Hua Z. Service outsourcing under different supply chain power structures. Annals of Operations Research, 2017, 248(1-2): 123–142.
- [25] Zhang Y W, Feng Z, Zhang S B. The effects of concession period structures on BOT road contracts. Transportation Research Part A, 2018, 107: 106–125.

作者简介:

冯 卓 (1987—), 男, 山东人, 博士, 副教授, 研究方向: PPP项目合约治理, Email: zhfeng@dlut.edu.cn;

宋金波 (1975—), 男, 辽宁人, 博士, 教授, 研究方向: 基础设施项目投融资, Email: songjinbo@dlut.edu.cn;

冯 晴 (1995—), 女, 河北人, 硕士, 研究方向: PPP项目合约治理, Email: 15230182721@163.com;

潘 凯 (1988—), 男, 辽宁人, 硕士, 研究方向: 能源基础设施, Email: pankai1988@petrochina.com.cn.

附录: 证明

命题1的证明: 1) 由于 $e_f^v = (\frac{1}{2}\gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$ 以及 $e_c^v = (\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v)^{\frac{2}{3}}$, 注意到 $0 < \alpha \leq 1$, 因此可以得到 $e_c^v \leq e_f^v$.

2) 由于 $U_f^v - U_c^v = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) - R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) + (1-\alpha) \left(t - \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) C_v - P_f + \alpha P_c$, 因此, 令 $\Delta P_v = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) - R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) + (1-\alpha) \left(t - \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} \right) C_v$, 则当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_v$ 时, 可以得到 $U_f^v - U_c^v \leq 0$, 这意味着项目公司应当选择激励性成本加酬金合同; 否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_v$ 时, 可以得到 $U_f^v - U_c^v > 0$, 这意味着项目公司应当选择固定总价合同。 证毕。

命题2的证明: 由于 $\frac{d\Delta P_v}{dR} = \gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} - \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{\frac{1}{3}} > 0$, 因此 ΔP_v 是 R 的增函数; 根据 ΔP_v 的表达式, 由于其每一项均为 α 的减函数, 因此 ΔP_v 也是 α 的减函数。 证毕。

命题3的证明: 1) 根据 e_f^h 以及 e_c^h 的表达式, 由于 $0 < \alpha \leq 1$, 因此可以得到 $e_f^h \geq e_c^h$.

根据 e_f^h 以及 e_f^v 的表达式, 很容易得到 $e_f^h \geq e_f^v$; 根据 e_c^h 以及 e_c^v 的表达式, 也很容易得到 $e_c^h \geq e_c^v$.

由于 $e_c^h - e_c^v = \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{\frac{2}{3}}$, 因此可以得到 $\frac{d(e_c^h - e_c^v)}{d\alpha} = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{-\frac{1}{3}} (1-\beta) \frac{1}{2}\gamma C_v - \frac{2}{3} \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v \right)^{-\frac{1}{3}} \frac{1}{2}\gamma C_v < 0$.

又由于当 $\alpha = 1$ 时, 有 $e_c^h - e_c^v = e_f^h - e_f^v$, 因此可以得到 $e_c^h - e_c^v \geq e_f^h - e_f^v$.

$$U_f^h - U_c^h = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{\frac{1}{3}} \right) - P_f$$

2) 由于 $-R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{\frac{1}{3}} \right) + (1-\alpha) \left(t - \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{\frac{1}{3}} \right) C_v + \alpha P_c$

因此, 令 $\Delta P_h = R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{\frac{1}{3}} \right) - R \left(T + \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{\frac{1}{3}} \right) + (1-\alpha) \left(t - \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{\frac{1}{3}} \right) C_v$

当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_h$ 时, 可以得到 $U_f^h - U_c^h \leq 0$, 这意味着项目公司应当选择激励性成本加酬金合同; 否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_h$ 时, 可以得到 $U_f^h - U_c^h > 0$, 这意味着项目公司应当选择固定总价合同。

下面证明 $\Delta P_h \leq \Delta P_v$. 根据 ΔP_h 的表达式, 可得

$$\frac{d\Delta P_h}{d\beta} = \frac{1}{3}R\gamma \left(\frac{1}{2}\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta R\gamma \right)^{-\frac{2}{3}} \frac{1}{2}R\gamma - \frac{1}{3}R\gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{-\frac{2}{3}} \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) - (1-\alpha) \frac{1}{3}C_v \gamma \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \right)^{-\frac{2}{3}} \left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \right) \leq 0,$$

从而 ΔP_h 为 β 的减函数. 又由于当 $\beta = 0$ 时, 有 $\Delta P_h = \Delta P_v$, 因此有 $\Delta P_h \leq \Delta P_v$. 证毕。

命题4的证明: 1) 由于 $\frac{d\Delta P_h}{dR} = \left(T + \gamma \left(e_f^h \right)^{\frac{1}{2}} \right) - \left(T + \gamma \left(e_c^h \right)^{\frac{1}{2}} \right) + \frac{1}{2}R\gamma \left(e_f^h \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{de_f^h}{dR} - \frac{1}{2}R\gamma \left(e_c^h \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{de_c^h}{dR} - \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v \left(e_c^h \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{de_c^h}{dR}$, 可以证明当 $\beta = 0$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{dR} = \frac{d\Delta P_v}{dR} \geq 0$, 而当 $\beta = 1$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{dR} \leq 0$, 因此, 存在 $\beta_1 < \beta_2$, 当 $\beta \leq \beta_1$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{dR} \geq 0$, 而当 $\beta \geq \beta_2$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{dR} \leq 0$.

2) 根据 ΔP_h 的表达式, 可得

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta P_h}{d\alpha} &= -\frac{1}{3}R\gamma\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)\right)^{-\frac{2}{3}}(1-\beta)\frac{1}{2}\gamma C_v - \\ &\left(t - \gamma\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)\right)^{\frac{1}{3}}\right)C_v - \\ &(1-\alpha)\gamma\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)\right)^{-\frac{2}{3}}(1-\beta)\frac{1}{2}\gamma C_v \leq 0. \end{aligned}$$

又由于

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Delta P_h}{d\alpha d\beta} &= \left(\frac{2}{9}R\gamma + \frac{2}{3}(1-\alpha)\gamma\right)\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)\right)^{-\frac{5}{3}}\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)(1-\beta)\frac{1}{2}\gamma C_v + \\ &\left(\frac{1}{3}R\gamma + (1-\alpha)\gamma\right)\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)\right)^{-\frac{2}{3}}\frac{1}{2}\gamma C_v + \\ &\frac{1}{3}\gamma C_v\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \beta\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right)\right)^{-\frac{2}{3}}\left(\frac{1}{2}R\gamma + \frac{1}{2}(1-\alpha)\gamma C_v\right) \geq 0, \end{aligned}$$

而且当 $\beta = 0$ 时, $\frac{d\Delta P_h}{d\alpha} = \frac{d\Delta P_v}{d\alpha}$, 因此可以得到 $\frac{d\Delta P_v}{d\alpha} \leq \frac{d\Delta P_h}{d\alpha} \leq 0$.

3) 根据命题3的证明, 可以很容易得到 $\frac{d\Delta P_h}{d\beta} \leq 0$.

证毕.

命题5的证明: 由于 $\Delta P_h \leq \Delta P_v$, 因此, 当 $P_f - \alpha P_c \leq \Delta P_h$ 时, 项目公司在两种外包模式下都会选择固定总价合同; 当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_v$ 时, 项目公司在两种外包模式下都会选择成本加酬金合同; 当 $\Delta P_h \leq P_f - \alpha P_c \leq \Delta P_v$ 时, 项目公司在纵向外包模式下选择固定总价合同, 而在横向外包模式下选择成本加酬金合同.

当 $P_f - \alpha P_c \leq \Delta P_h$ 时, $U_f^v = R\left(T + \gamma(e_f^v)^{\frac{1}{2}}\right) - P_f$, $U_f^h = R\left(T + \gamma(e_f^h)^{\frac{1}{2}}\right) - P_f$, 根据命题3, $e_f^h \geq e_f^v$, 因此可以得到 $U_f^v \leq U_f^h$.

当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_v$ 时,

$$U_c^v = R\left(T + \gamma(e_c^v)^{\frac{1}{2}}\right) - (1-\alpha)\left(t - \gamma(e_c^v)^{\frac{1}{2}}\right)C_v - \alpha P_c,$$

$$U_c^h = R\left(T + \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right) - (1-\alpha)\left(t - \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right)C_v - \alpha P_c,$$

同样, 根据 $e_f^h \geq e_f^v$, 可得 $U_c^v \leq U_c^h$.

当 $\Delta P_h \leq P_f - \alpha P_c \leq \Delta P_v$ 时,

$$U_f^v = R\left(T + \gamma(e_f^v)^{\frac{1}{2}}\right) - P_f,$$

$$U_c^h = R\left(T + \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right) - (1-\alpha)\left(t - \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right)C_v - \alpha P_c,$$

下面证明 $U_c^h - U_f^v \geq 0$.

由于 $e_f^h \geq e_f^v$, 因此可得

$$\begin{aligned} U_c^h - U_f^v &= R\left(T + \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right) - (1-\alpha)\left(t - \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right)C_v - \alpha P_c - R\left(T + \gamma(e_f^v)^{\frac{1}{2}}\right) + P_f \\ &\geq R\left(T + \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right) - (1-\alpha)\left(t - \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right)C_v - R\left(T + \gamma(e_f^v)^{\frac{1}{2}}\right) + \Delta P_h \\ &= -R\left(T + \gamma(e_f^v)^{\frac{1}{2}}\right) + R\left(T + \gamma(e_c^h)^{\frac{1}{2}}\right) \geq 0, \end{aligned}$$

从而项目公司在横向外包下可以获得更高的收益.

证毕.

命题6的证明: 由于 $U_f^v - U_c^v = (1-\alpha)\left(t - \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right)C_v - P_f + \alpha P_c$, 定义 ΔP_v^t 满足 $\Delta P_v^t = (1-\alpha)\left(t - \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right)C_v$, 则当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_v^t$ 时, 可以得到 $U_f^v - U_c^v \leq 0$, 这意味着项目公司应当选择激励性成本加酬金合同; 否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_v^t$ 时, 可以得到 $U_f^v - U_c^v > 0$, 这意味着项目公司应当选择固定总价合同. 同时, 由于 $\alpha \leq 1$, 因此, $\Delta P_v^t \leq R\left(T + \gamma\left(\frac{1}{2}\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right) - R\left(T + \gamma\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right) + (1-\alpha)\left(t - \left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right)C_v = \Delta P_v$.

证毕.

命题7的证明: 1) 由于 $U_f^h - U_c^h = -P_f + \alpha P_c + (1-\alpha)\left(t - \gamma\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta(1-\alpha)\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right)C_v$, 因此, 令 $\Delta P_h^t = (1-\alpha)\left(t - \gamma\left(\frac{1}{2}\alpha\gamma C_v + \frac{1}{2}\beta(1-\alpha)\gamma C_v\right)^{\frac{1}{3}}\right)C_v$, 当 $P_f - \alpha P_c \geq \Delta P_h^t$ 时, 可以得到 $U_f^h - U_c^h \leq 0$, 这意味着项目公司应当选择激励性成本加酬金合同; 否则当 $P_f - \alpha P_c < \Delta P_h^t$ 时, 可以得到 $U_f^h - U_c^h > 0$, 这意味着项目公司应当选择固定总价合同.

2) 当 $R = 0$ 时, $\Delta P_h = \Delta P_h^t$. 因此, 根据命题4, 命题7可以得到证明.

证毕.