



EPC 模式下总承包项目联合体合作关系的稳定性

胡 奇, 孙 慧

(江西理工大学 经济管理学院, 江西 赣州 341000)

摘要: EPC 总承包模式因其责任高度集成以及精细的项目控制, 在国内外得到了广泛应用。为促进我国 EPC 模式的进一步推行, 文章对当前热门的 EPC 模式下总承包项目联合体合作关系的稳定性进行了研究。首先, 基于演化博弈理论, 得到了各主体合作过程中的复制动态方程和策略稳定点, 探讨了各主体的策略选择与积极优化项目的关系; 之后, 引入了系统动力学模型对博弈模型进行了数值仿真, 得出了不同的初始选择策略对合作稳定性的影响规律。研究结果表明, 合作的稳定条件与各主体的初始策略选择的概率相关; 各主体 8 种不同的初始选择策略, 最终均会稳定在积极合作或消极应对; 此外, 设计单位的初始合作意愿对施工单位和建设单位的合作优化意愿产生重要影响; 不同的外生参数变动也会影响三方主体的策略选择变化。

关键词: EPC 总承包; 联合体; 博弈论; 系统动力学

中图分类号: TU71

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)04-0061-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.04.052

Stability of the cooperation relationship among general contracting project consortia under EPC mode

HU Qi, SUN Hui

(Jiangxi University of Science and Technology School of Economics and Management, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: The EPC model has been widely used at China and overseas due to its highly integrated responsibilities as well as fine project control. In order to promote the further implementation of the EPC consortium model in China, the stability of consortium partnerships in the current trendy EPC model for general contracting projects is studied. Firstly, based on the evolutionary game theory, the replicated dynamic equations and strategy stability points in the cooperation process of each subject are obtained, and the relationship between the strategy selection of each subject and the active optimization of the project is explored; Subsequently, the system dynamics model was introduced to carry out numerical simulation of the game model, and the laws of the influence of different initial selection strategies on the stability of the cooperation were derived. The results show that the stability conditions of cooperation are related to the probability of the initial strategy choices of each subject; the eight different initial choice strategies of each subject are eventually stabilized at positive optimization or maintaining the stage. Moreover, the initial cooperation willingness of the design unit has a significant impact on the cooperation optimization willingness of the construction unit and the building unit; different exogenous parameter variations also affect the strategy selection changes of the three subjects.

Key words: EPC general contracting; consortium projects; game theory; system dynamics theory

近年来, EPC 总承包模式在中国总体上呈现 业务量快速上升、工程规模不断扩大的趋势。根

收稿日期: 2023-10-25

基金项目: 江西省研究生创新专项资金项目(YC2023-S621); 江西省智慧建筑工程研究中心、南昌航空大学重点科研基地开放基金项目(HK20211003)

作者简介: 胡 奇(1999—), 女, 硕士研究生, 从事工程管理方向的研究。

据 2017 年国务院发布的《关于促进建筑业持续健康发展的意见》^[1], 中国需要加速发展建设 EPC 工程总承包模式, 进一步推动设计、采购与施工的深度融合, 提升行业整体水平。然而, EPC 总承包模式在我国组织方式落后, 其综合管理以及合作创新能力亟需解决^[2,3]。联合体模式因其合作的深度与便利性, 能够有效地利用合作伙伴提供的信息、技术和资金来确保项目的顺利实施^[4], 同时分散和降低许多不可预见的项目风险, 从而增强项目的应对能力, 实现双赢^[5]。因此, EPC 总承包模式与联合体模式的结合得到了广泛的研究^[6]。然而, 由于 EPC 项目常用于投资额大、时间跨度长、项目管理技术复杂等情况, 其本质是一次性的合作, 易导致联合体内部利益相关者产生冲突, 合作关系不稳定^[7]。

为促进 EPC 模式下联合体项目的成功实施并实现创新优化, 需关注联合体模式下各利益相关者的合作稳定性问题。当前, 对 EPC 模式下总承包项目合作关系的研究主要分为两类, 一类研究主体是建设单位和联合体牵头单位^[8], 另一类为设计单位、施工单位和采购单位^[9,10]。然而, 建设单位、设计单位和施工单位也是 EPC 联合体的重要组成部分, 但对此三者的研究较少, 靳颖等^[11,12]对模型设置未区分仅一方参与优化合作时项目的稳定情况, 同时仿真分析考虑的参数较少。王德东等^[13]基于演化博弈研究了 EPC 联合体内部设计单位和施工单位之间的合作关系, 根据仿真结果提供了建议; 然而研究并未考虑建设单位。叶晓牡等^[10]构建了设计单位、施工单位和采购单位三方演化博弈模型, 并通过仿真分析研究了影响联合体内部合作关系的因素, 然而为了简化模型, 导致结果与实际情况不会完全相同。

因此, 本文在此基础上, 进一步对建设单位、设计单位及施工单位的合作关系的稳定性展开研究, 并分析项目初始合作的 8 种情况, 以及多个外生变量对联合体合作关系稳定性的影响, 以期可为提高类似 EPC 联合体项目合作稳定性提供参考。

1 EPC 模式下项目联合体合作关系的博弈分析

EPC 模式下的项目联合体涉及多个利益相关

方, 包括政府、建设单位、设计单位、施工单位、供应商和监理单位等。本研究专注于联合体内部的多主体合作关系, 故不考虑政府对联合体内部合作关系的影响。

1.1 博弈模型参数的基本假设

1.1.1 基本假设

(1) 假设 1: 博弈模型的参与主体为建设单位、设计单位和施工单位。建设单位选择“激励”的概率为 x , 则“不激励”的概率为 $1-x$; 设计单位选择“优化”的概率为 y , 则“维持现状”的概率为 $1-y$; 施工单位选择“优化”的概率为 z , 则“维持现状”的概率为 $1-z$ 。其中 $x, y, z \in [0, 1]$ 。

(2) 假设 2: 在 EPC 项目中, 建设单位可以选择“激励”策略, 即采取激励措施提高项目的质量、收益等, 同时, 建设单位为节约成本也可以选择“不激励”; 设计单位可以选择“优化”策略, 从源头节约工程造价, 以达到提高项目建设质量的目的, 但为减少成本也可以选择“维持现状”; 施工单位可以选择“优化”, 采用新材料、新工艺和新办法优化施工工艺并节约成本, 但为了降低项目风险也可以选择“维持现状”。

1.1.2 相关参数假设

C_q 为建设单位激励策略的成本, 万元。

R_q 为建设单位激励策略的收益, 万元。

R'_q 为建设单位采取激励策略, 且设计单位与施工单位同时优化获得的优化收益, 万元。

R' 为建设单位未采取激励策略, 但设计单位与施工单位同时优化获得的优化收益, 且 $R' < R'_q$, 万元。

t 为建设单位给总承包商的优化奖励分配比例系数, $t \in [0, 1]$ 。

F 为建设单位给总承包商的优化奖励, 则设计单位为 tF , 施工单位为 $(1-t)F$, 且 $F < R'_q$, 万元。

C_s 为设计单位选择优化额外付出的成本, 万元。

R_s 为设计单位选择维持现状的净收益, 万元。

E_s 为仅设计单位一方选择优化的收益, 万元。

μ 为设计单位与施工单位同时优化的收益分配比例系数, $\mu \in [0, 1]$ 。

R 为设计单位与施工单位同时优化的总收益, 万元。则设计单位为 μR , 施工单位的收益为 $(1 - \mu)R$ 。

C_g 为施工单位选择优化时额外付出的成本, 万元。

R_g 为施工单位选择维持现状的净收益, 万元。

E_g 为仅施工单位一方选择优化的收益, 万元。

1.2 支付矩阵

表 1 为建设单位、设计单位和施工单位的策略选择集合, 共 8 种情况。

1.3 复制动态方程

(1) 建设单位策略选择的复制动态方程。建设单位采取“激励”和“不激励”策略时的期望收益分别为式(1)和(2)。

$$E_x = (R'_q - F)yz + R_q - C_q \quad (1)$$

$$E_{1-x} = R'_y z \quad (2)$$

式中: E_x 和 E_{1-x} 分别为建设单位采取“激励”和“不激励”策略时的期望, 万元。可进一步得到建设单位的复制动态方程:

$$F(x) = x(1-x)[(R'_q - R' - F)yz + R_q - C_q] \quad (3)$$

(2) 设计单位策略选择的复制动态方程。设计单位采取“优化”和“维持现状”策略时的期望收益分别为式(4)和(5)。

$$E_y = tFxz + (\mu R - E_s)z + R_s + E_s - C_s \quad (4)$$

$$E_{1-y} = R_s \quad (5)$$

根据公式(4)、(5), 得到设计单位的复制动态方程, 如式(6)。

$$F(y) = y(1-y)[tFxz + (\mu R - E_s)z + E_s - C_s] \quad (6)$$

(3) 施工单位策略选择的复制动态方程。施工单位采取“优化”和“维持现状”策略时的期望收益如式(7)、(8)所示。

$$E_z = (1-t)Fxy + [(1-\mu)R - E_g]y + R_g + E_g - C_g \quad (7)$$

$$E_{1-z} = R_g \quad (8)$$

根据上述公式, 施工单位的复制动态方程如式(9)。

$$F_z = z(1-z)\{(1-t)Fxy + [(1-\mu)R - E_g]y + E_g - C_g\} \quad (9)$$

2 系统动力学模型构建与仿真分析

本节将引入 SD 模型对各参数进行赋值并数值仿真, 使各主体的策略选择路径可视化。

2.1 系统动力学模型构建

构建 EPC 模式下项目联合体合作博弈的 SD 模型, 需确定系统方程中变量之间的关系。在本文 1.2 中设置的变量和收益方程的基础上, 假设 x , y 和 z 为状态变量, 则建设单位、设计单位以及施工单位的 3 个速度变量分别为: dx/dt 、 dy/dt 以及 dz/dt 。

根据上述演化博弈模型的复制动态方程, 确认 SD 模型中的状态变量、速率变量、中间变量以及外生变量之间的函数关系。得到博弈模型系统流程图, 如图 1 所示。

2.2 项目实例仿真分析

根据文献 [12]、[13] 中数值仿真的数据, 对 SD 模型中的参数进行了赋值。为了清晰地表现 SD 模型中各参数的变化情况, 在满足参数大小的情况下, 相关参数的赋值均按比例缩小, 具体的

表 1 建设单位、设计单位和施工单位的收益矩阵

策略组合	建设单位	设计单位	施工单位
(激励, 优化, 优化)	$R_q + R'_q - C_q - F$	$R_s + \mu R + tF - C_s$	$R_g + (1-\mu)R + (1-t)F - C_g$
(激励, 优化, 维持现状)	$R_g - C_g$	$R_s + E_s - C_s$	R_g
(激励, 维持现状, 优化)	$R_g - C_g$	R_s	$R_g + E_g - C_g$
(激励, 维持现状, 维持现状)	$R_g - C_g$	R_s	R_g
(不激励, 优化, 优化)	R'	$R_s + \mu R - C_s$	$R_g + (1-\mu)R - C_g$
(不激励, 优化, 维持现状)	0	$R_s + E_s - C_s$	R_g
(不激励, 维持现状, 优化)	0	R_s	$R_g + E_g - C_g$
(不激励, 维持现状, 维持现状)	0	R_s	R_g

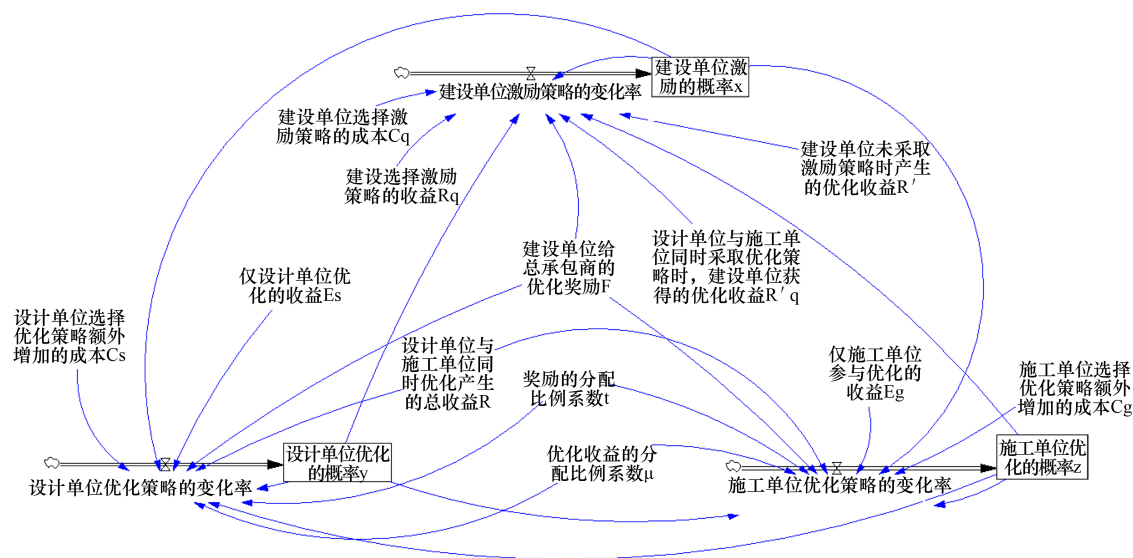


图1 建设单位、设计单位与施工单位演化博弈系统的 SD 仿真模型

参数赋值如表 2 所示。本文借助 Vensim PLE 软件对 EPC 模式下项目联合体合作博弈模型进行数值模拟仿真。

表 2 SD 模型中外生变量的取值

变量	C_q	R_q	R'_q	R'	F	t	R	μ	E_s	C_s	E_g	C_g
取值	0.9	0.7	1.8	0.9	0.3	0.5	4.7	0.4	0.6	1.3	0.8	1.8

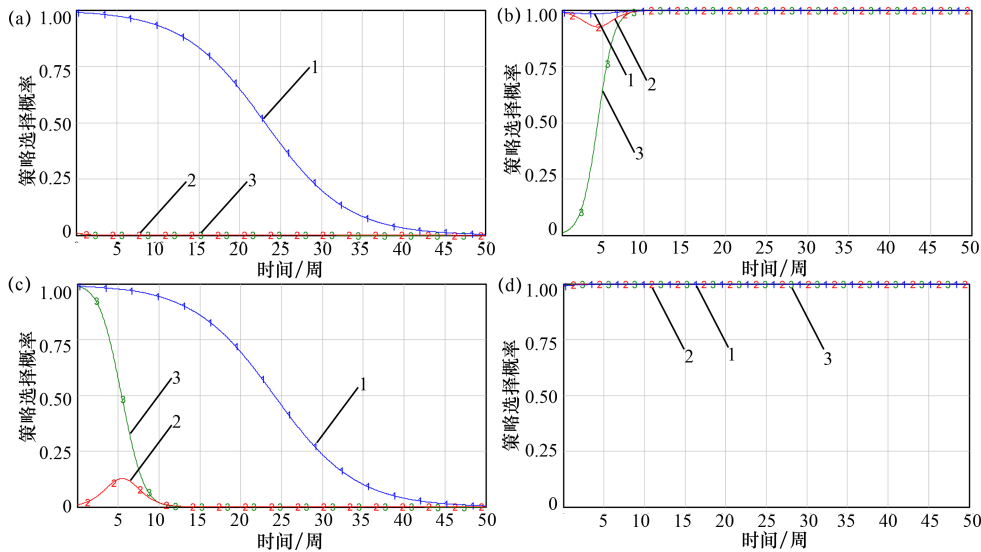
2.3 三方纯策略选择仿真分析

本文分析了各主体的纯策略组合，即建设单位、设计单位和施工单位均选择“0”或“1”的策略，共有 8 种均衡点以及初始状态。

当建设单位初始选择激励策略时，共有 4 种

情况，如图 2 所示。图 2(a)为三方策略(1, 0, 0)时的演化路径图，即三方的初始策略为建设单位选择激励策略，设计单位选择维持现状且施工单位也维持现状时的演化路径图。由图 2(a)可知，初始状态下建设单位积极激励总承包商优化项目，然而设计单位和施工单位一直消极应对项目联合体的合作，不愿优化项目，最终三方策略在(0, 0, 0)保持稳定。

当建设单位激励且设计单位也参与优化后如图 2(b)所示，施工单位会为追求高额的优化收益和优化奖励果断地选择优化策略。最终稳定在(1,



(a) (1, 0, 0) 策略; (b) (1, 1, 0) 策略 (c) (1, 0, 1) 策略; (d) (1, 1, 1) 策略
建设单位激励的概率: 1—x; 2—y; 3—z。

图2 建设单位初始选择激励策略的演化路径

1, 1)策略;由图2(c)可知,当建设单位与施工单位选择积极的策略时,设计单位短暂地选择了优化策略但随即还是选择了维持现状。这是因为当设计单位放弃优化,施工单位和建设单位也无法获取优化收益,故选择了放弃,此时稳定策略为(0, 0, 0)。根据图2(d),当个主体初始积极合作意愿均强烈时,各主体获得优化收益可能性更大,故选择积极合作的(1, 1, 1)策略。

当建设单位初始策略选择不激励时,共有4种情况,如图3所示。图3(a)为各主体选择(0, 0, 0)策略时的演化路径图,当各主体初始优化意愿很弱时,会导致项目优化失败,最终稳定在(0, 0, 0)策略。

由图3(b)可知,初始策略仅设计单位优化时,设计单位因担心优化失败造成损失会趋于放弃优化而选择维持现状,但此时施工单位会积极配合设计单位,从选择维持现状策略快速转为优化策略,最终带动了设计单位重新选择优化策略,并且在设计单位与施工单位稳定地选择了优化策略后,建设单位为获取优化收益也选择了激励策略,使得三方稳定在(1, 1, 1)策略。从图3(c)可见,三方最终均选择放弃优化,与(1, 0, 1)情况类似。图(d)中的策略与(0, 1, 0)后半段的情况类似,最终稳定在(1, 1, 1)策略。

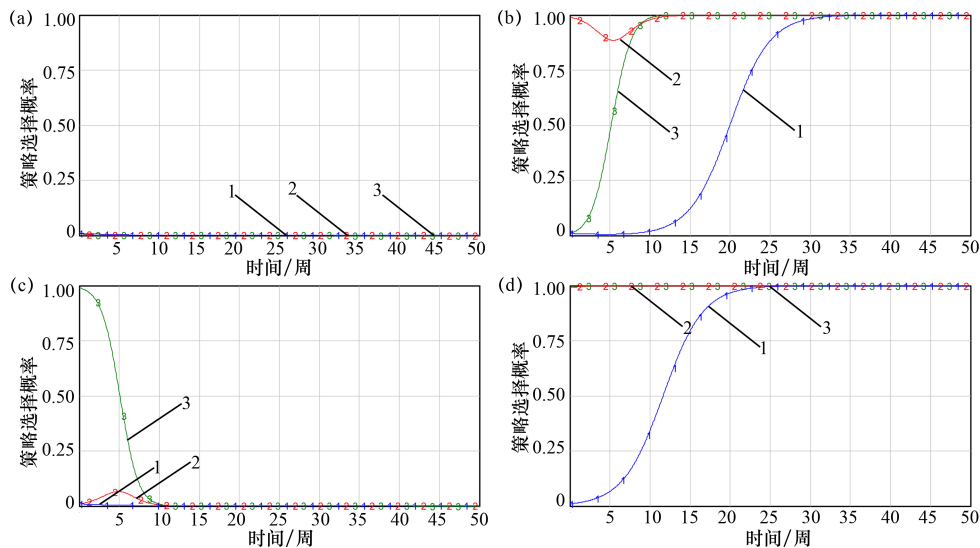
通过对比(0, 1, 0)和(1, 0, 1)两种初始策

略的演化路径图,(0, 1, 0)是仅设计单位选择优化的情形,但最终个主体均选择了积极的合作策略。与之相反,(1, 0, 1)策略是建设单位和施工单位初始策略分别是激励策略和优化策略,但最终却因设计单位不配合导致个主体均放弃了优化。由此可见,设计单位的策略选择直接影响着施工单位的选择,并随之影响建设单位的选择。设计单位选择维持现状策略是因为获取的优化收益较施工单位少,故对项目设计优化不积极。因此,总承包单位的优化收益分配比例系数影响联合体合作的稳定性,故下一小节分析外生变量对主体策略选择的影响。

2.4 外生变量对各主体策略选择的仿真分析

外生变量对主体的策略选择有着密切的关系,故本节将建设单位、设计单位和施工单位的初始激励和优化意愿均取0.5,对外生变量进行分析。

(1) 建设单位激励成本 C_q 对各主体策略选择的影响。图4为改变 C_q 的取值对各主体策略选择的演化路径图,其中,方案一、二和三的 C_q 值分别取0.9、1.1和1.3。由图4可知,随着建设单位激励成本的增加,建设单位采取激励措施的时间也逐渐迟缓,直到建设单位的财务压力过大致其放弃激励。与此同时,由于建设单位逐渐选择不激励策略,设计单位和施工单位因缺乏优化动力均选择了维持现状策略,放弃项目优化。



(a); (b); (c) (0, 0, 1) 策略; (d) (0, 1, 1) 策略

建设单位激励的概率: 1—x; 2—y; 3—z。

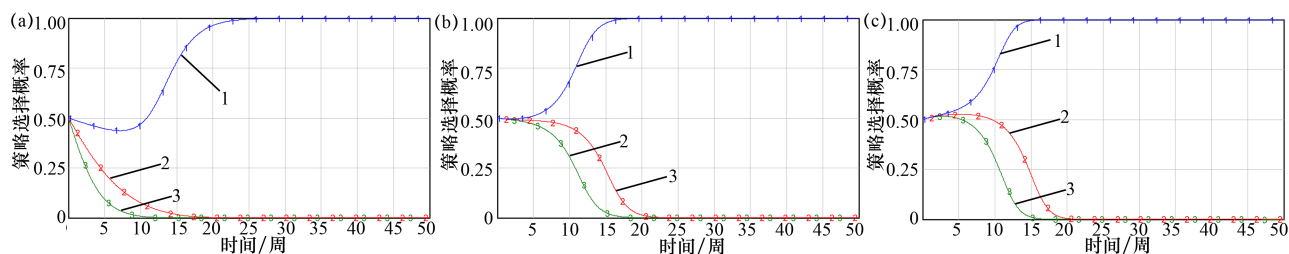
图3 建设单位初始选择不激励策略的演化路径

(2) 建设单位给总承包商的优化奖励 F 对各主体策略选择的影响。图 5 为优化奖励 F 对各主体的策略选择演化路径图的影响, 其中, 方案一、二和三的 F 值分别取 0.3、0.5 和 0.8。由图可知, 随着建设单位给予的优化奖励增加, 其选择激励策略的速率也明显变慢, 但考虑到高额优化收益仍坚持采取激励策略。但优化奖励到达 0.8 时, 建设单位不堪财务的重负选择不激励策略。与之相反, 设计单位和施工单位却因建设单位优化奖励的增加, 强化了优化动力, 积极选择优化策略且选择优化策略的速率显著加快。

(3) 奖励的分配比例系数 t 对各主体策略选择的影响。图 6 为奖励比例分配系数 t 对各主体策略选择的演化路径图。其中, 方案一、二和三的 t

值分别取 0.4、0.5 和 0.6。由图可见, 当建设单位发放适当的优化奖励时, 总承包商的奖励比例分配几乎不会影响三大主体合作策略的选择, 均选择积极的策略优化项目。同时, 随着设计单位优化奖励的增加, 设计单位选择优化策略的速率会逐渐增加并带动建设单位和施工单位也更快地加入激励和优化策略, 最终保持在 (1, 1, 1) 的稳定点。

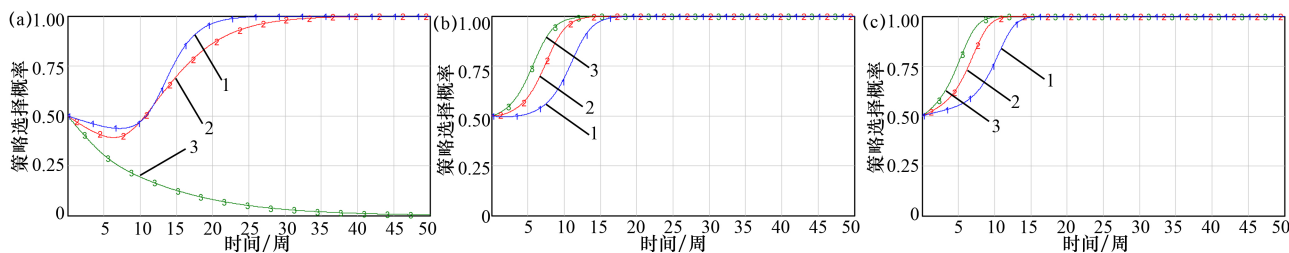
(4) 优化收益的分配比例系数 μ 对各主体策略选择的影响。图 7 为优化收益的分配比例系数 μ 对各主体策略选择的影响, 调整方案中参数 μ 并展开分析。其中, 方案一、二和三的 μ 值分别取 0.4、0.5 和 0.6。由图 7 可知, 随着收益分配系数的增加, 设计单位选择优化策略的速率显著加



(a) 建设单位; (b) 设计单位; (c) 施工单位

施工单位优化的概率: 1—方案 1; 2—方案 2; 3—方案 3。

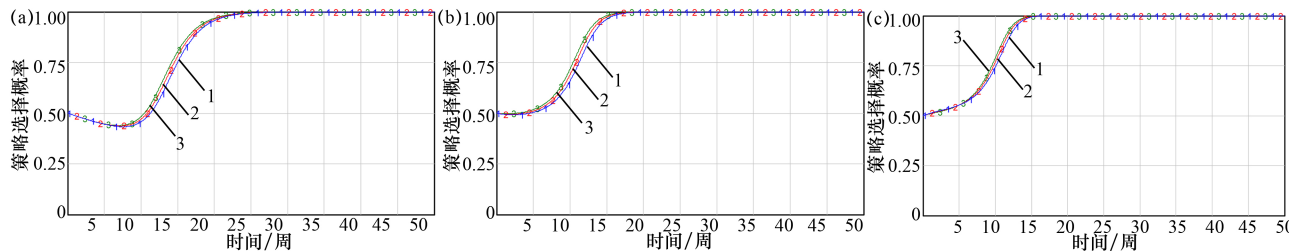
图 4 C_q 的取值对各主体策略选择的演化路径



(a) 建设单位; (b) 设计单位; (c) 施工单位

施工单位优化的概率: 1—方案 1; 2—方案 2; 3—方案 3。

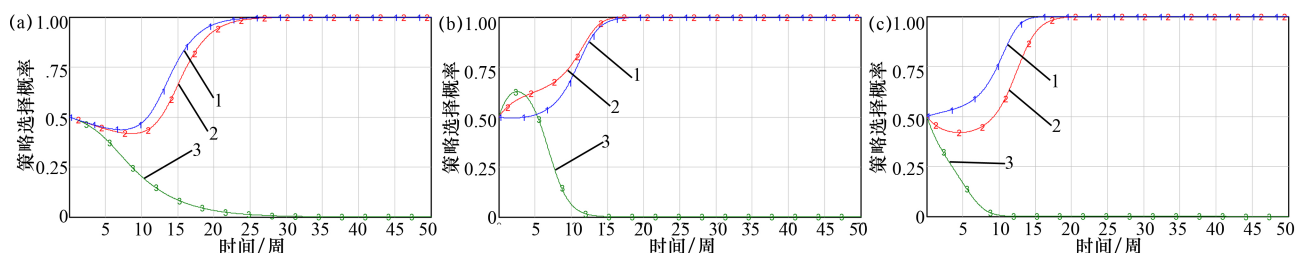
图 5 F 影响各主体的策略选择演化路径



(a) 建设单位; (b) 设计单位; (c) 施工单位

设计单位优化的概率: 1—方案 1; 2—方案 2; 3—方案 3。

图 6 t 影响各主体的策略选择演化路径



(a) 建设单位; (b) 设计单位; (c) 施工单位

设计单位优化的概率: 1—方案 1; 2—方案 2; 3—方案 3。

图 7 μ 影响各主体的策略选择演化路径

快, 反之, 由于施工单位优化收益的降低选择优化策略的速率明显下降, 但在可承受的范围内仍会继续配合优化, 建设单位则根据另外两个主体的策略选择进行判断。然而, 当 μ 取 0.6 时, 设计单位占了大部分的优化收益时, 设计单位初始策略为积极配合优化, 但随着施工单位选择维持现状策略及时止损也选择了放弃优化策略, 随之建设单位也选择了不激励策略, 最终项目联合体优化失败。

3 结 语

本文运用 Vensim PLE 软件对 EPC 模式下项目联合体合作关系稳定性的博弈模型进行了数值仿真。仿真结果表明, 三方主体的 8 种纯策略最终都会稳定在积极合作或消极应对。同时, 各主体的初始策略选择能决定各主体是否能积极合作以及项目是否能够优化。

为促使现有 EPC 联合体模式下总承包项目相关利益主体积极参与项目优化, 提出的建议如下:

(1) 建设单位应当在把握自身财政储备能力的前提下, 建立合理的奖励机制以激励联合体项目的优化, 同时, 还应当为联合体企业提供更多的自主决策空间, 协调好联合体与外部相关方的关系, 为项目的顺利实施提供良好的外部环境, 推进各主体稳定合作。

(2) 联合体项目中, 牵头单位应当明确设计方和施工方的收益分配细则, 制定分配方案, 减少联合体参与者的利益剥夺感, 特别是设计优化收益需要明确界定, 要确定何种程度的设计优化才属于设计优化分配的范畴, 防止设计院承担设计优化费用, 而获得较低的优化收益, 切实提高联合体合作关系的稳定性。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见[J]. 建筑设计管理, 2017, 34(4): 26-28; 34.
- [2] 谢晓东, 苏宁川, 莫细喜. 基于云模型的 EPC 项目招标风险评价研究[J]. 工程建设, 2022, 54(5): 49-54.
- [3] 景涛, 周鑫, 周珈亦, 等. 浅谈新法规体系下工程总承包项目的管理[J]. 工程建设, 2022, 54(7): 64-68.
- [4] 季红军. 联合体承发包模式的探索与实践[J]. 中国招标, 2022(6): 100-102.
- [5] 史春芳, 苏岩, 孙君, 等. 联合体模式下工程总承包项目管理的探索与实践[J]. 中国勘察设计, 2023(1): 67-69.
- [6] ALMAIAN R, LASCOLANEEDY KWALSH K, et al. A qualitative data analysis for supplier quality-management practices for engineer-procure-construct projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2016, 142(2): 1-13.
- [7] 刘亚运. EPC 总承包管理 - 联合体模式下问题的分析与解决[J]. 四川建筑, 2023, 43(4): 286-287.
- [8] 杨剑. EPC 项目中设计单位牵头的联合体合作模式管理思考[J]. 建筑经济, 2022, 43(10): 43-48.
- [9] 代天卉. EPC 模式下联合体成员合作关系演化稳定性分析及仿真研究[D]. 成都: 西华大学, 2021.
- [10] 叶晓壮, 毛卿任, 张宇. EPC 联合体博弈行为仿真分析[J]. 市政技术, 2023, 41(2): 203-208.
- [11] 靳颖, 李英攀, 李亚峰, 等. 设计院牵头的 EPC 模式合作关系博弈研究[J]. 工程管理学报, 2021, 35(6): 107-112.
- [12] 刘燕, 刘梦迪. 基于演化博弈的全过程工程咨询联合体协作策略研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(S1): 1029-1035.
- [13] 王德东, 傅宏伟. EPC 联合体合作关系演化博弈分析[J]. 工程管理学报, 2019, 33(1): 84-89.