

基于 Moran 过程的 PPP 项目承包商 机会主义行为演化动态

王天日, 郭靖云, 王海涛, 黄 付

(太原理工大学 经济管理学院, 太原 030024)

摘要:在 PPP 项目中, 由于政府部门和承包商的目标不一致以及信息不对称等原因的存在, 使得在其全生命周期过程中, 承包商的机会主义行为屡见不鲜。本文基于随机演化博弈理论, 建构基于 Moran 过程的博弈模型, 旨在探讨推动 PPP 项目承包商不采取机会主义行为策略的有利条件。研究表明, 承包商数目不断扩大, 通过降低承包商之间的举报成本, 增大惩处力度, 可使降低机会主义行为发生概率的效果显著。进一步, 借助数值算例, 对研究结果进行验证并给出相应的管理对策。

关键词:PPP 项目; 机会主义行为; Moran 过程; 随机演化博弈; 扎根概率

中图分类号:C934 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)8—0168—06

随着我国“一带一路”倡议的实行以及城镇化基础设施建设的推进, PPP 模式以其能够降低政府部门的债务、加强民营资本在建筑经济活动中的活力、提高项目的完成质量和效率而被广泛应用于我国建筑领域中。然而, 在实际的运行与实施中, PPP 项目中也存在各种各样的问题。在 PPP 项目中, 政府部门与承包商目标不一致、信息不对称等问题十分普遍, 使得在 PPP 项目的全生命周期过程中承包商采取机会主义行为这种现象的发生。针对 PPP 项目中存在的承包商机会主义行为, 提出有效的监管与治理对策, 是政府亟待解决的问题。

一、文献综述

PPP 项目中的承包商机会主义行为受到社会广泛关注, 学者纷纷对其展开研究。例如, Lohman 和 Rötzel^[1]研究了在 PPP 项目中政府部门的会如何影响私人部门的行为, 研究表明, 政府部门的监管行为对私人部门的机会主义行为有抑制作用。尹贻林等^[2]通过利用进化博弈理论, 对业主行为的演化进行分析, 对基于长短期合作下的进化均衡进行研究。为公共项目中怎样应对承包商机会主义行为寻求对策。通过研究发现, 监管力度的增强带来的效果只能暂时性地降低损失, 若要从根源杜绝这种现象的发生, 需要考虑长期合作收益。张艳茹等^[3]基于惩罚和补偿两种不同的机制, 建构了进化博弈模型。通过对两种机制下进化稳定策略的分析, 得到结论: 对于抑制承包商的机会主义行为, 相较惩罚机制, 补偿机制更为有效。对于整治承包商机会主义行为在 PPP 项目中较为普遍的现象, 毕蕾^[4]从契约的角度进行了研究, 指出: 治理双方契约的有效途径是互惠政策、信任机制与声誉机制。目前关于 PPP 项目中承包商采取机会主义行为的研究大多都是运用演化博弈的方法, 在这种模型下参与方通常是无限的或者足够多的。然而在实际生活中, 大多数演化行为都是在有限群体中进行的。本文拟在 PPP 项目中承包商数量有限的条件下, 研究承包商策略选择及影响因素。

博弈论是对策略选择进行研究不可或缺的方法。演化博弈论是基于参与方有限理性与信息不完全的角度分析参与方策略的选择机制, “复制动态方程”和“ESS”是该模型的两个关键点。经典的演化博弈模型总是运用与个体无限的情形中。有限个体的演化一般都是随机过程。Taylor 等^[5]讨论了有限个体的演化动态

收稿日期: 2020—03—19

基金项目: 国家自然科学基金“多用户驱动的机械加工服务双向匹配优化与博弈配置机制研究”(71701141); 山西省软科学项目“云环境下山西省煤机装备制造业运作模式与发展策略研究”(2017041007-3)

作者简介: 王天日(1986—), 男, 山西大同人, 博士, 太原理工大学经济管理学院副教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 博弈论与优化方法、工程项目管理、供应链管理; 郭靖云(1996—), 女, 山西太原人, 太原理工大学经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 随机演化博弈论、工程项目管理; 王海涛(1996—), 女, 山西吕梁人, 太原理工大学经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 博弈论、供应链管理; 黄付(1992—), 男, 太原理工大学经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 供应链管理。

与经典的演化博弈模型中的无限总体复制动态之间的关系。柴彩春等^[6]分析了制造商生产策略的演化动态,借助 Moran 过程,得出了策略占优条件以及影响策略占优的因素。杨丰梅等^[7]为了研究电商平台共享机制演化动态,借助了 Moran 过程,分析得出电商共享策略占优的条件。王先甲等^[8]借助 Moran 过程研究了消费者众筹策略的演化动态,得出了在不同选择条件下推动消费者参与众筹的有利条件。

综上,本文是在 PPP 项目中承包商个体数量有限的条件下,在考虑政府的惩罚、承包商的寻租行为、承包商举报成本等因素的条件下,借助 Moran 过程探究不采取机会主义行为策略的占优条件。

二、模型假设

考虑单种群问题,假设在一个 PPP 项目中有 N 个承包商,并且他们之间是无差异的,策略 Y : 承包商采取机会主义行为,策略 S : 承包商不采取机会主义行为,这是承包商的两种策略选择。假设在每一次博弈中,根据合同约定,承包商可获得固定收益 R ,采取机会主义行为策略的承包商所需的建设成本为 C_1 ,不采取机会主义行为策略的承包商所需的成本为 C_2 ,其中 $C_1 < C_2$ 。当承包商一方采取策略 S ,另一方采取策略 Y 时,采取机会主义行为策略的一方以概率 β 对不采取机会主义行为策略的一方进行贿赂,并支付寻租成本 B ;而不采取机会主义行为策略的一方以概率 α 举报采取机会主义行为策略的一方,并需承受相应的举报成本 D 。假设若双方都存在机会主义行为,则会被政府发现并进行相应的罚款 P 。假设任何一方都无法逃脱相应的处罚。其中, α, β 取值为 $0 \sim 1$ 。

根据以上假设与阐述,策略 S 与策略 Y 的支付矩阵见表 1。

表 1 PPP 项目中承包商 1 和承包商 2 的支付矩阵

策略选择		承包商 2	
		不采取机会主义行为策略 S	采取机会主义行为策略 Y
承包商 1	不采取机会主义行为策略 S	$R - C_2, R - C_2$	$R - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D, R - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P$
	采取机会主义行为策略 Y	$R - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P, R - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D$	$R - C_1 - P, R - C_1 - P$

其中, $R > 0$: 承包商按合同约定所取得的固定收益; $C_1 > 0$: 承包商存在机会主义行为所需的建设成本; $C_2 > 0$: 承包商不采取机会主义行为时的建设成本; $P > 0$: 机会主义行为,被政府发现后,政府对其的罚款; $B > 0$: 承包商之间互相贿赂(寻租)的成本; $D > 0$: 承包商若发现另一个承包商采取机会主义行为时进行举报的成本; $\alpha \in [0, 1]$: 承包商举报他人的概率; $\beta \in [0, 1]$: 承包商进行贿赂(或寻租)的概率。

下面,基于 Moran 过程研究无差异的 N 个承包商在两种策略下的演化动态。

三、Moran 过程模型

在有限总体中,研究个体选择问题常常借助经典的遗传学模型——Moran 过程。在相同步长的时间段内,复制产生一个相同的个体,个体被选择的依据是策略的适应度,同时随机替换剩余的 $N-1$ 个个体中的一个,从而保持总体数目 N 不变。假设群体中承包商的数量是 N , i 是不采取机会主义行为策略 S 的人数,则采取机会主义行为策略 Y 的人数为 $N-i$,承包商采取策略 S 和策略 Y 的期望收益^[9]分别为:

$$E_s(i) = \frac{i-1}{N-1}(R - C_2) + \frac{N-i}{N-1}[R - C_2 + (1-\alpha)\beta B - \alpha D], i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$E_y(i) = \frac{i}{N-1}[R - C_1 - \beta B - (1-\beta)\alpha P] + \frac{N-i-1}{N-1}(R - C_1 - P), i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (2)$$

假设适应度为期望收益的线性函数,则式(3)、式(4)分别为策略 S 和策略 Y 的适应度:

$$f_s(i) = 1 - \omega + \omega E_s(i) \quad (3)$$

$$f_y(i) = 1 - \omega + \omega E_y(i) \quad (4)$$

其中: ω 为选择强度,其取值范围为 $[0, 1]$ 。

基于 Moran 过程^[10]展开分析,可以得出 $\frac{if_s(i)}{if_s(i) + (N-i)f_y(i)}$ 为采用策略 S 的个体增加 1 个的概率,策略 S

的个体数量随着时间步的演化,可能会增加、减少或者不变。因此, Moran 过程的概率转移矩阵是一个除了对角线元素以外,其余元素均为零的三对角矩阵。对角线元素为

$$P_{i,i+1} = \frac{if_s(i)}{if_s(i) + (N-i)f_y(i)} \times \frac{N-i}{N} \tag{5}$$

$$P_{i,i-1} = \frac{(N-i)f_y(i)}{if_s(i) + (N-i)f_y(i)} \times \frac{i}{N} \tag{6}$$

$$P_{i,i} = 1 - P_{i,i+1} - P_{i,i-1} \tag{7}$$

所有承包商都采取机会主义行为策略,即*i*=0,或都不采取机会主义行为策略即*i*=*N*,这是 Moran 过程的两个稳定状态。若总体呈现出这两种状态之一,将保持这种状态稳定不变。下面计算总体分别达到这两种状态时的扎根概率。

令 x_i 表示初始状态为有 i 个个体采取 S 策略,然后演化到 S 策略被全部 N 个个体采取的概率。由全概率公式可得:

$$x_i = P_{i,i+1}x_{i+1} + P_{i,i}x_i + P_{i,i-1}x_{i-1} \tag{8}$$

边界值 $x_0=0, x_N=1$, 将 $P_{i,i+1}, P_{i,i}, P_{i,i-1}$ 的表达式带入式(8)中,可解得

$$x_i = \frac{1 + \sum_{j=1}^{i-1} \prod_{k=1}^j \frac{f_y k}{f_s(k)}}{1 + \sum_{j=1}^{N-1} \prod_{k=1}^j \frac{f_y k}{f_s(k)}} \tag{9}$$

当考虑只有一个承包商采取 S 策略时,其余 $N-1$ 个承包商均选择采取 Y 策略,最终 S 策略稳定的概率为

$$P_S = x_1 = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{N-1} \prod_{k=1}^j \frac{f_y k}{f_s(k)}} \tag{10}$$

当只有一个承包商采取 Y 策略,其余 $N-1$ 个承包商均采取 S 策略时,最终 Y 策略稳定的概率为

$$P_Y = 1 - x_{(N-1)} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{N-1} \prod_{k=1}^j \frac{f_y k}{f_s(k)}} \tag{11}$$

$$\frac{P_S}{P_Y} = \prod_{j=1}^{N-1} \frac{f_s(j)}{f_y(j)} \tag{12}$$

两种策略扎根概率的比例如式(12)所示,当无变异时,经过足够长时间的演化,最终的稳定策略更可能是扎根概率较大的一方。

当式(12)大于1,即 $P_S > P_Y$ 时,当策略无变异时,采取策略 S 的扎根概率较大,经过长时间的演化,逐渐增加的策略 S 的个体数量,会使得演化稳定策略为承包商不采取机会主义行为。

四、结果分析

根据 Taylor 的理论,以 $\frac{1}{N}$ 即中性入侵概率为基准^[5],研究有限总体中个体的演化状态。当 $P_S > \frac{1}{N}$ 时,在有限群体中,个体策略的选择有利于策略 S 取代策略 Y ; 当 $P_S < \frac{1}{N}$ 时,有限群体中个体策略的选择不利于策略 S 取代策略 Y 。

为方便计算,比较每个状态 i 下 $f_s(i)$ 与 $f_y(i)$ 的大小关系,作为承包商在状态 i 的条件下,采取策略 Y 的数量在自然选择下会增加或减少的依据。

$$h_i = f_s(i) - f_y(i), i = 1, 2, \dots, N-1 \tag{13}$$

若 $h_i > 0$, 表示支持策略 S 入侵策略 Y ; 若 $h_{N-1} < 0$, 表示策略 Y 侵入策略 S 更易。

1. 强选择性下的演化动态

强选择条件下, $\omega = 1$, 此时承包商的策略只与其期望收益有关,与其他外界因素无关。

故此时, $f_s(i) = E_s(i), f_y(i) = E_y(i)$

$$h_1 = f_s(1) - f_y(1) = E_s(1) - E_y(1) =$$

$$R - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D - \left[\frac{1}{N-1} (R - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P) + \frac{N-2}{N-1} (R - C_1 - P) \right] =$$

$$C_1 - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D + \frac{\beta B + (1 - \beta)\alpha P + (N-2)P}{N-1}$$

$$h_{(N-1)} = f_s(N-1) - f_y(N-1) =$$

$$E_s(N-1) - E_y(N-1) =$$

$$\frac{N-2}{N-1} (R - C_2) + \frac{1}{N-1} [R - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D] - [R - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P] =$$

$$C_1 - C_2 + \frac{(1 - \alpha)\beta B - \alpha D}{N-1} + \beta B + (1 - \beta)\alpha P$$

命题 1: 当 $\frac{-\beta B - (1 - \beta)\alpha P + 2P - C_2 + C_1 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D}{P - C_2 + C_1 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D} < N < \frac{(1 - \alpha)\beta B - \alpha D + C_2 - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P}{C_2 - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P}$ 时,

$h_1 > 0, h_{(N-1)} > 0$ 。此时,演化的结果为有利于 S 策略入侵 Y 策略,即趋向于不采取机会主义行为。

2. 弱选择性下的演化动态

对于承包商在弱选择性条件下采取策略的适应性,未来期望收益不是唯一的影响因素,可能还会考虑自身的声誉问题以及长期合作机会等因素的影响。在弱选择性条件下, $\omega \rightarrow 0$ 。将 P_s 在 $\omega \rightarrow 0$ 时根据泰勒展开式^[11]展开,可得到:

$$P_s = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{N-1} \prod_{k=1}^j \frac{f_y k}{f_s(k)}} \approx \frac{1}{N} \times \frac{1}{1 - \omega \times \frac{NA - B}{6}}$$

其中:

$$A = (R - C_2) + 2[R - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D] - [R - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P] - 2(R - C_1 - P)$$

$$B = 2(R - C_2) + [R - C_2 + (1 - \alpha)\beta B - \alpha D] + [R - C_1 - \beta B - (1 - \beta)\alpha P] - 4(R - C_1 - P)$$

(1) 若 $P_s > \frac{1}{N}, \frac{1}{6}(N \times A - B) > 0$, 当 $N \rightarrow \infty$ 时,上述式子可以简化为: $3C_1 - C_2 - 2\alpha D + 2P + (3 - \alpha)\beta B +$

$(1 - \beta)\alpha P > 0$, 即 $P > \frac{2\alpha D - 3(C_1 - C_2) - (3 - \alpha)\beta B}{2 + (1 - \beta)\alpha}$, 此时在弱选择性条件下,自然选择支持策略 S 入侵策略 Y。

(2) 若 $P_s < \frac{1}{N}$, 当 $N \rightarrow \infty$ 时,上述式子可以简化为 $3C_1 - C_2 - 2\alpha D + 2P + (3 - \alpha)\beta B + (1 - \beta)\alpha P < 0$,

即 $P < \frac{2\alpha D - 3(C_1 - C_2) - (3 - \alpha)\beta B}{2 + (1 - \beta)\alpha}$, 此时在弱选择性条件下,策略 Y 入侵策略 S 被自然选择支持。

命题 2: 在弱选择性条件下,当 N 充分大时,若 $P > \frac{2\alpha D - 3(C_1 - C_2) - (3 - \alpha)\beta B}{2 + (1 - \beta)\alpha}$ 时,承包商采取机会主义行为会被抵制。

综上分析,根据 Moran 过程的扎根概率,分析得到策略 S 的占优条件,在承包商数量较多时,一方面可以通过降低不采取机会主义行为的承包商对采取机会主义行为承包商的举报成本,推动来自承包商内部的互相监督;另一方面可以通过增强对采取机会主义行为的承包商的惩处力度,来减少机会主义行为的发生。

五、数值分析

借助数值实验对随机演化模型进行以下分析,从而对不采取机会主义行为策略演化的影响因素进行分析。包括不采取机会主义行为策略的承包商对采取机会主义行为策略的承包商的举报成本 D 和总包对采取机会主义行为策略的承包商的惩罚 P 。

不失一般性,考虑不同的选择强度 ω 下不采取机会主义行为策略演化率 $r = NP_s$ 与承包商总数 N 的关

系。为简化符号,以下记为

$a=R-C_2, b=R-C_2+(1-a)BB-aD, c=R-C_1-bB-(1-b)aP, d=R-C_1-P$ 。如图 1 所示(取 $a=4, b=4.08, c=5.42, d=3$), 可知演化率 r 是承包商总数 N 的单峰函数, 当 n 值很小时, 有 $NP_s < 1$, 即稳定策略为承包商采取机会主义行为; 当 n 增大到一定范围内, 无论选择强度 ω 多大, 均有 $NP_s > 1$, 即承包商不采取机会主义行为策略 S 会成为稳定状态; 对于 $N \rightarrow \infty$, 若要保持 $NP_s > 1$, 选择强度 ω 有一定的阈值, 较小的 ω 取值使得稳定策略为承包商不采取机会主义行为。

第 4 部分对 $\omega \rightarrow 0$ 的情形, 进行了理论论证及结果分析。现算例部分考虑 $\omega=1$ 的情形下, 最终稳定状态受到各种因素影响的情况。

(1) 在其他参数保持不变的条件下, 考虑参数 D 即举报成本对最终稳定状态的影响。如图 2 所示, 逐渐降低举报成本分别得到曲线 r_1 (取 $a=8, b=1, c=2, d=4$); r_2 (取 $a=8, b=1.8, c=2, d=4$); r_3 (取 $a=8, b=2.6, c=2, d=4$); r_4 (取 $a=8, b=3.4, c=2, d=4$); r_5 (取 $a=8, b=4.2, c=2, d=4$)。从图 2 中的变化趋势可以看出, 降低承包商的举报成本, 会使最终的稳定策略逐渐演化为承包商不采取机会主义行为。

(2) 在其他参数恒定的情形下, 考虑参数 P 即总承包商对采取机会主义行为策略的承包商的惩罚力度对最终稳定状态的影响。如图 3 所示, 逐渐增加惩罚力度, 分别得到曲线 r_1 (取 $a=10, b=4, c=10, d=8$); r_2 (取 $a=10, b=4, c=7, d=6.5$); r_3 (取 $a=10, b=4, c=5.5, d=4.5$); r_4 (取 $a=10, b=4, c=4.5, d=4$); r_5 (取 $a=10, b=4, c=4, d=3.5$)。从变化趋势上可以看出, 较弱的惩罚程度会使得占优策略为承包商采取机会主义行为, 随着惩罚程度的增大, 承包商不采取机会主义行为成为进化稳定状态。

根据图 1~图 3 可以看出, $\omega=1$ 即只有博弈收益决定适应度时, 降低不采取机会主义行为策略的承包商对采取机会主义行为策略的承包商的举报成本和加大总包对采取机会主义行为策略的承包商的惩罚力度, 将会使最终稳定状态是承包商不采取机会主义行为。

六、结论

本文研究了在承包商数量有限的条件下, PPP 项目中研究承包商不采取机会主义行为策略的演化趋势。基于演化博弈理论, 引入 Moran 过程, 并借助随机过程中的马尔科夫转移矩阵法, 运用概率转移矩阵, 计算了承包商是否采取机会主义行为策略的扎根概率。以中性入侵概率 $\frac{1}{N}$ 作为比较标准, 若 P_1 大于中性入侵概率, 则受自然选择的影响, 机会主义行为策略的承包商会逐渐侵占整个群体; 若 P_s 大于中性漂变概率, 则承包商采取机会主义行为策略会被抵抗, 而不采取机会主义行为策略的承包商会逐渐取代采取机会主义行为策略的承包商。最后, 分析了两策略在强弱选择性强度下占优的条件, 并通过数值算例进行验证, 进而得到相应的管理建议: PPP 总承包商可以通过增加承包商的数量, 应用互联网技术建立新型的监管平台, 降低承包商间的举报成本, 同时加大惩罚力度, 从而减少 PPP 项目中承包商的机会主义行为。

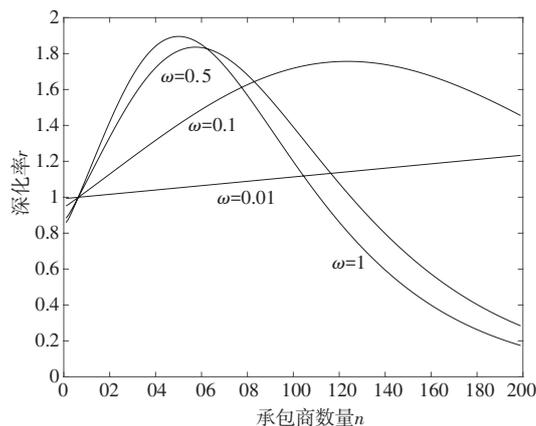


图 1 不同选择强度下承包商总数与不采取机会主义行为演化率关系图

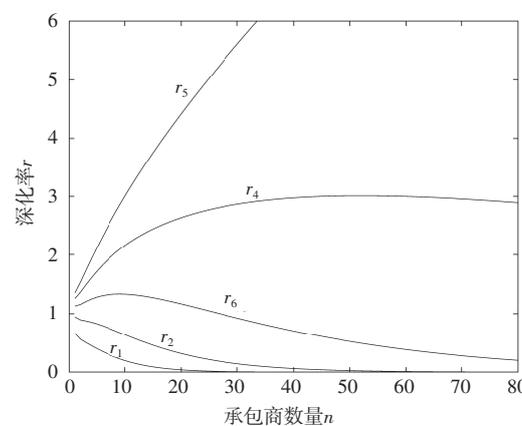


图 2 不同举报成本下承包商总数与不采取机会主义行为演化率关系图

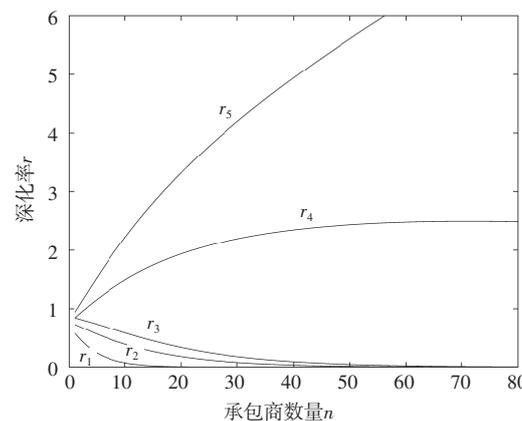


图 3 不同惩罚程度下承包商总数与不采取机会主义行为演化率关系图

参考文献

- [1] LOHMAN C, RÖTZEL P. Opportunistic behavior in renegotiations between public-private partnerships and government institutions: Data on public-private partnerships of the German armed forces[J]. *International Public Management Journal*, 2014, 17(3): 1413-1422.
- [2] 尹贻林, 徐志超, 邱艳. 公共项目中承包商机会主义行为应对的演化博弈研究[J]. *土木工程学报*, 2014, 47(6): 138-144.
- [3] 张艳茹, 陈通, 汪勇杰. 公共文化 PPP 项目中承包商机会主义行为[J]. *河北工业科技*, 2014, 31(6): 469-473.
- [4] 毕蕾. 公共基础设施 PPP 项目主体间的机会主义及治理[J]. *财经问题研究*, 2016(4): 18-23.
- [5] TAYLOR C, FUDENBERG D, SASAKI A, et al. Evolutionary game dynamics in finite populations [J]. *Bulletin of Mathematical Biology*, 2004, 66(6): 1621-1644.
- [6] 柴彩春, 肖条军, 许甜甜. 基于 Moran 过程的制造商生产策略演化动态[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(9): 2262-2270.
- [7] 杨丰梅, 王安瑛, 吴军, 等. 电商平台信用信息共享策略演化[J]. *系统工程学报*, 2017, 32(5): 596-603.
- [8] 王先甲, 何奇龙, 全吉, 等. 基于 Moran 过程的消费者众筹策略演化动态[J]. *运筹与管理*, 2017, 26(11): 105-110.
- [9] NOWAK M A, SASAKI A, TAYLOR C, et al. Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations[J]. *Nature*, 2004, 428(6983): 646-650.
- [10] MORAN P A P. The statistical processes of evolutionary theory[J]. *The Statistical Processes of Evolutionary Theory*, 1962, 14(4): 438-439.
- [11] NOWAK M A. *Evolutionary dynamics: Exploring the equations of life* [M]. Cambridge, USA: Harvard University Press, 2006.

Evolution Dynamics of Opportunistic Behavior of PPP Project Contractors Based on Moran Process

Wang Tianri, Guo Jingyun, Wang Haitao, Huang Fu

(School of Economics and Management, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In the PPP project, due to the goal inconsistency and information asymmetry of the government department and contractor, the contractor's opportunistic behavior is common during the whole life cycle. Based on the stochastic evolutionary game theory, this paper constructs a game model with the Moran process to study the evolutionary dynamics of different behavior strategies. The purpose explores the favorable conditions for promoting PPP project contractors not to adopt opportunistic behavior strategy. The results show that the occurrence probability of contractor's opportunistic behavior can be lowered by increasing of the number of contractors or reducing the reporting cost between contractors and increasing the punishment cost of opportunistic behavior. Further, the results are verified and management countermeasures are demonstrated with the numerical examples.

Keywords: PPP project; opportunistic behavior; Moran process; stochastic evolutionary game; rooted probability