

基于有限理性的工程质量监督管理

施建刚, 孔庆山

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 在有限理性分析框架下构建了监管部门和承包商群体之间的演化博弈模型, 分析了群体策略的动态演化. 研究发现在监管部门和承包商随机配对的质量监管博弈中, 最终会出现监管失效现象. 为了分析这种现象产生的原因, 对承包商群体内部的质量竞争博弈展开研究, 发现过高和过低的惩罚费用都不利于质量监管系统的有效运转, 引入外部激励改变群体策略的演化方向从而实现监管目标是提高工程质量监管绩效的有效途径. 发现对于某一承包商的质量监管激励会对其他承包商的质量行为产生威慑效应, 对质量欺骗净收益较大的承包商实施质量监管激励可以有效提高监管绩效. 最后找到了使总激励费用最小的策略组合, 实现了工程质量监管系统的优化.

关键词: 质量监管; 有限理性; 演化稳定策略; 外部激励; 群体博弈

中图分类号: C931.2

文献标志码: A

Engineering Quality Supervision Management Based on Bounded Rationality

SHI Jiangang, KONG Qingshan

(College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In the perspective of bounded rationality, this paper develops an evolutionary game model to analyze the evolutionary directions of groups' behavior. Research findings indicate that there is a phenomenon of "invalidation of management" and the further analyses disclose that too high or too low penalty fee of quality competition is not good for the effective operation of the quality supervision system. By introducing the external incentive, we can change the evolutionary directions of the group strategy and find effective method to enhance quality management performance of the project. The study finds that for a certain contractor's quality supervision incentive can bring the deterrent effect to other

contractor's quality behavior, to incentive the quality supervision of the contractor whose income is larger can enhance the performance of supervision. Finally, we use the deterrent effect to find the minimum cost of incentive strategy combination and achieve the system optimization of project quality management.

Key words: quality management; bounded rationality; evolutionary stable strategy; external incentive; group game

随着我国城镇化进程的加快, 工程建设项目数量大幅增加, 2006 年至 2011 年间全国城镇房屋建筑施工面积增加了一倍多, 而质量监督人员数量基本未发生变化, 全国人均监督房屋建筑面积约为 20.9 万 m², 这一数值为 20 世纪 90 年代初的 7 倍, 且相当一部分大中城市人均监督面积已经超过 100 万 m², 当前工程质量监督人员紧缺、监督经费不足的问题异常突出^[1]. 因此, 转变管理方式成为监管部门必须解决的一个重要问题, 对整个质量群体的控制可以有效提高监管效率. 在现实的质量监管系统中, 工程承包商和质量监管者并非都是完全理性的, 在理论上探讨有限理性质量参与群体之间的行为演化更符合实际要求, 有助于了解在不同的监管机制下参与群体的策略演化方向, 从而制定更有效的激励机制, 提高质量监管绩效.

工程质量管理一直是学术界关注的焦点, 对于工程质量精细化控制有大量的理论研究, 从监管机制入手探讨工程质量控制也有部分研究成果. Robert P. Elliott^[2]通过研究建设主体对质量控制的行为活动发现有效的激励策略是确保工程质量之本, 监管者的有效激励可以提高承包商的能动性. Ernzen J 等^[3]认为对承包商设置有效的质量控制和监管体系, 对其施加正确的质量激励手段可以提高

收稿日期: 2013-08-22

基金项目: 教育部人文社会科学研究基金(12YJA630099); 国家自然科学基金青年基金(71301065)

第一作者: 施建刚(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要研究方向为管理科学与工程、房地产开发与管理.

E-mail: sjg126com@126.com

通讯作者: 孔庆山(1987—), 男, 博士生, 主要研究方向为城市与房地产发展管理. E-mail: kongqshan@gmail.com

工程项目质量. Killingsworth M B 等^[4]从质量监管体系和质量保证过程探讨了降低监管部门监督管理费用的有效方法. 王艳等^[5]采用经典博弈论的方法对工程质量监控进行了分析,发现监理单位对承包商的惩罚系数、监督成本及承包商的骗费额对博弈均衡产生重要影响. 秦旋^[6]运用委托-代理理论对工程监理制度下的业主与工程师之间的委托代理关系进行了分析,发现通过设计合理的激励合同利用内外部的约束机制和市场声誉能有效抑制在不对称信息环境下的道德风险. 杨艳等^[7]通过对住宅质量政府监管职能定位分析指出政府对主体质量行为的监督存在缺陷,应加强对不良质量行为的监管. 程敏等^[8]采用演化博弈方法对建筑工程安全监管过程中建筑企业安全生产策略选择与政府监管部门监管策略选择的互动行为及稳定状态进行了分析.

在真实的质量监管系统中,由于有限理性的存在导致最终策略出现变动,构建有限理性的分析框架研究监管部门和承包商之间的策略选择更符合现实情况. 本文在有限理性的分析框架下分别研究监管部门和承包商之间的质量监管博弈以及承包商群体内部的质量竞争博弈,并提出了提高监管绩效的优化路径.

1 有限理性分析框架与模型构建

博弈方有限理性代表了参与方很难达到子博弈完美纳什均衡,在一阶段博弈中很难预测有限理性博弈方的策略,选择适当的分析框架对有限理性博弈进行分析显得十分必要. 有限理性博弈主要分析有限理性博弈方^[9] (bounded rational player, BRP) 所构成一定规模的特定群体内的某种反复博弈,也可以分析大量博弈方组成的群体中随机配对的反复博弈. 在这种分析框架下,博弈分析的关键问题是在分析有限理性博弈方组成的群体的策略调整过程、趋势和稳定性的基础上选择最优的博弈策略. 在有限理性博弈中具有真正稳定性和较强预测能力的均衡必须是能通过博弈方模仿、学习的调整过程达到的具有抗干扰性和稳健性的均衡. 在演化博弈论中^[10],最核心的概念是演化稳定策略(evolutionary stable strategy, ESS)和复制动态(replicator dynamics). ESS 表示种群抵抗变异策略侵入的一种稳定状态,复制动态^[11]实际上是描述某一特定策略在种群中被采用的频数或频度的动态微分方程. 根据演化的原理,一种策略的适应度或支付(payoff)比

种群的平均适应度高,这种策略就会在种群中发展,体现为这种策略的增长率大于零,可以用以下微分方程给出:

$$\frac{1}{x_k} \frac{dx_k}{dt} = [u(k, s) - u(s, s)] \quad (1)$$

式中: x_k 为一个种群中采用策略 k 的比例; t 为种群的学习时间; $u(k, s)$ 为种群采用策略 k 时的适应度; $u(s, s)$ 为种群采用策略 s 的平均适应度.

有限理性承包商和监管部门共同构成一定规模的特定群体,在该群体内随机配对最终会有 2 种博弈模式,即监管部门和承包商之间的质量监管非对称博弈、承包商群体内部的质量竞争对称博弈.

2 有限理性质量监管博弈

在监管部门和承包商之间的非对称质量监管博弈中,监管部门可以选择监管和不监管 2 种策略;承包商可以选择正常质量策略(NQ),也可以选择质量欺骗策略(UQ),质量欺骗未被发现时会获得更高的利润. 在非对称博弈中,博弈方的学习和策略模仿局限在所属群体内部,策略调整的机制遵循复制动态方程,因此,需要分别对群体成员进行复制动态和演化稳定策略分析.

设监管部门采取监管的概率是 $x_1 = x$, 采取不监管的概率为 $x_2 = 1 - x$, 其中 $x \in [0, 1]$; 承包商采取 UQ 的概率是 $y_1 = y$, 采取 NQ 的概率为 $y_2 = 1 - y$, 其中 $y \in [0, 1]$. 如表 1 所示,监管部门如果对承包商的质量实施监管,将会付出数额 O 的监管费用. 承包商采取 NQ 的收益为 π , 采取 UQ 的收益为 $\bar{\pi}$; 承包商采取 UQ 时,若被监管部门监查会受到 F 的质量惩罚;承包商通过降低质量可以产生成本竞争优势,从而获得质量欺骗额外收益 ϵ . 监管部门和承包商可以独立随机地选择自身策略,并在多次决策中重复进行博弈.

表 1 监管部门和承包商的支付矩阵

Tab.1 The payment max of supervisor and contractor

监管策略	UQ	NQ
监管	$F - O, \bar{\pi} + \epsilon - F$	$-O, \pi$
不监管	$0, \bar{\pi} + \epsilon$	$0, \pi$

第 i 个质量监管部门 S_i 采取监管策略的适应度 $u_s(y)$ 和不监管策略的适应度 $u_s(x)$ 分别为

$$u_s(y) = y(F - O) + (1 - y)(-O) \quad (2)$$

$$u_s(x) = 0 \quad (3)$$

根据式(2)和式(3)求得 S_i 的平均适应度 \bar{u}_s 为

$$\bar{u}_s = xu_s(y) + (1 - x)u_s(x) \quad (4)$$

因此,由 Malthusian 方程, S_i 采取监管策略的复制动态方程由式(1)、式(2)、式(4)求得.

$$\frac{dx}{dt} = x[u_s(y) - \bar{u}_s] = x(1-x)(yF - O) \quad (5)$$

同理,可以得到第 i 个承包商 C_i 采取 UQ 的适应度 $u_c(x)$ 和平均适应度 \bar{u}_c , 并求得采取 UQ 的复制动态方程为

$$\frac{dy}{dt} = y[u_c(x) - \bar{u}_c] = y(1-y)(\bar{\pi} - \pi + \epsilon - xF) \quad (6)$$

命题 1 点 $(0,0)$, $(0,1)$, $(1,0)$, $(1,1)$, $(\frac{\bar{\pi} + \epsilon - \pi}{F}, \frac{O}{F})$ 为演化动力系统的系统平衡点.

根据 Friedman^[12] 提出的方法,一个由微分方程系统的群体动态系统平衡点的稳定性可由该系统的

雅可比矩阵的局部稳定性分析得到,因此对式(5)、式(6)求偏导可得雅可比矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)(yF-O) & x(1-x)F \\ -y(1-y)F & (1-2y)(\bar{\pi} + \epsilon - xF - \pi) \end{bmatrix}$$

据此可以求得其行列式和迹的表达式为

$$\begin{cases} \det J = (1-2x)(yF-O)(1-2y) \cdot \\ \quad (\bar{\pi} + \epsilon - xF - \pi) - y(1-y)(-F)x(1-x)F \\ \operatorname{tr} J = (1-2x)(yF-O) + (1-2y) \cdot \\ \quad (\bar{\pi} + \epsilon - xF - \pi) \end{cases}$$

依据演化博弈理论,满足 $\det J > 0$, $\operatorname{tr} J < 0$ 的平衡点为系统的稳定点,于是可以对表 2 均衡点讨论得出稳定性结论.

表 2 质量监管博弈的雅可比矩阵判定结果

Tab.2 Jacobi judging results of quality supervision game

均衡点	满足条件	$\det J$	$\det J$ 判定结果	$\operatorname{tr} J$	$\operatorname{tr} J$ 判定结果	稳定性结果
$(0,0)$		$-O(\epsilon - \pi + \bar{\pi})$	—	$-O + \epsilon - \pi + \bar{\pi}$	—	不稳定点
$(0,1)$	$\begin{cases} F < O \\ \pi < \epsilon + \bar{\pi} \end{cases}$	$(F-O)(\pi - \epsilon - \bar{\pi})$	+	$F - O + \pi - \epsilon - \bar{\pi}$	—	ESS
$(1,0)$		$O(-F - \pi + \bar{\pi} + \epsilon)$	+ 或 - *	$O - F - \pi + \bar{\pi} - \epsilon$	+ 或不能判定	不稳定点
$(1,1)$	$\begin{cases} O < F \\ F + \pi < \bar{\pi} + \epsilon \end{cases}$	$(O-F)(F + \pi - \epsilon - \bar{\pi})$	+	$O + \pi - \bar{\pi} - \epsilon$	—	ESS
$(\frac{\bar{\pi} + \epsilon - \pi}{F}, \frac{O}{F})$		$O(F-O) \cdot$ $(\bar{\pi} + \epsilon - \pi)(F - \bar{\pi} - \epsilon + \pi)F^{-2}$	+	0	0	鞍点

注:若 $\det J$ 为正,则 $\operatorname{tr} J$ 为正;若 $\det J$ 为负,则 $\operatorname{tr} J$ 不能判定正负.

命题 2 若 $F < O$ 且 $\pi < \epsilon + \bar{\pi}$, 则 $(0,1)$ 为该系统的稳定点,监管部门和承包商的策略(不监管、质量欺骗)为演化稳定策略;若 $O < F < \bar{\pi} - \pi + \epsilon$, 则 $(1,1)$ 为该系统的稳定点,监管部门和承包商的策略(监管、质量欺骗)为演化稳定策略.

适者生存体现在这种策略的增长率大于零,如果策略的适应度或支付比种群的平均适应度高,这种策略就会在种群中发展.通过对监管部门和承包商随机配对博弈分析发现:承包商会演化到 UQ;监管部门最终会出现不监管和监管 2 种稳定策略.很容易理解当监管部门采取不监管策略时,承包商会演化到 UQ,最终会出现稳定策略(不监管、质量欺骗);但是当监管部门采取了监管策略,承包商群体依然会演化到 UQ,最终出现稳定策略(监管、质量欺骗),导致“监管失效”.为了分析监管失效的原因,接下来对外部质量监管下承包商群体内质量竞争行为演化方向进行分析.

3 有限理性质量竞争博弈

在外部质量监管下,承包商群体内部随机配对进行质量竞争博弈,均有 NQ, UQ 2 种策略选择.第 j 个承包商 C_j 采取 NQ 的收益为 π_j , 采取 UQ 的期望收益为 $\bar{\pi}_j$; 选择 UQ 会遭到质量监管部门的惩罚 F_j ; 承包商之间的质量竞争是一种零和博弈,一方收益的增加必然导致另一方收益的减少,选择 UQ 的承包商由于有成本竞争优势而得到 ϵ_j 的额外收益,相应的竞争承包商收益会减少 ϵ_j , $\epsilon_2 - \epsilon_1$ 为承包商 C_2 质量竞争净收益,双方的支付矩阵如表 3 所示.

表 3 承包商的支付矩阵

Tab.3 The payment max of contractor

承包商 C_2 质量策略	承包商 C_1	
	NQ	UQ
NQ	π_1, π_2	$\pi_1 - \epsilon_2, \pi_2 + \epsilon_2 - F_2$
UQ	$\pi_1 + \epsilon_1 - F_1, \pi_2 - \epsilon_1$	$\bar{\pi}_1 - F_1, \bar{\pi}_2 - F_2$

假设承包商 C_1 采取 NQ 的概率为 $m_1=m$ (m 为概率, $m \in [0,1]$), 采取 UQ 的概率为 $m_2=1-m$; 承包商 C_2 采取 NQ 的概率为 $n_1=n$ (n 为概率, $n \in [0,1]$), 采取 UQ 的概率为 $n_2=1-n$. 承包商 C_1 和 C_2 选择 NQ 的复制动态方程分别表示为

$$dm/dt = m[u(n) - \bar{u}] = m(1-m)(F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1 - \epsilon_1 n + \epsilon_2 n - n\pi_1 + n\bar{\pi}_1) \quad (7)$$

$$dn/dt = n[u(m) - \bar{u}] = n(1-n)(F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2 + \epsilon_1 m - \epsilon_2 m + m\bar{\pi}_2 - m\pi_2) \quad (8)$$

命题 3 点 $(0,0)$, $(0,1)$, $(1,0)$, $(1,1)$, $\left(\frac{F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2}{\epsilon_2 - \epsilon_1 + \pi_2 - \bar{\pi}_2}, \frac{F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1}\right)$ 为演化动力系统的系统平衡点.

系统平衡点的稳定性可由该系统的雅可比矩阵的局部稳定性分析得到, 因此对式(7)、式(8)求偏导

可得雅可比矩阵为 $J = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$, 其中, $A = (1-2m)(F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1 - \epsilon_1 n + \epsilon_2 n - n\pi_1 + n\bar{\pi}_1)$, $B = m(1-m)(-\epsilon_1 + \epsilon_2 - \pi_1 + \bar{\pi}_1)$, $C = n(1-n) \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \bar{\pi}_2 - \pi_2)$, $D = (1-2n)(F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2 + \epsilon_1 m - \epsilon_2 m + m\bar{\pi}_2 - m\pi_2)$. 雅可比矩阵的局部稳定性可由雅可比矩阵的行列式和迹判定, 如表 4 所示.

$$\det J = (1-2m)(F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1 - \epsilon_1 n + \epsilon_2 n - n\pi_1 + n\bar{\pi}_1)(1-2n)(F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2 + \epsilon_1 m - \epsilon_2 m + m\bar{\pi}_2 - m\pi_2) - n(1-n)(\epsilon_1 - \epsilon_2 + \bar{\pi}_2 - \pi_2)m(1-m)(-\epsilon_1 + \epsilon_2 - \pi_1 + \bar{\pi}_1)$$

$$\text{tr } J = (1-2m)(F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1 - \epsilon_1 n + \epsilon_2 n - n\pi_1 + n\bar{\pi}_1) + (1-2n)(F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2 + \epsilon_1 m - \epsilon_2 m + m\bar{\pi}_2 - m\pi_2)$$

表 4 质量竞争博弈的雅可比矩阵判定结果

Tab.4 Jacobi judging results of quality game

均衡点	充分条件	$\det J > 0$	$\text{tr } J < 0$
$(0,0)$	$\begin{cases} F_1 < \epsilon_2 - \pi_1 + \bar{\pi}_1 \\ F_2 < \epsilon_1 - \pi_2 + \bar{\pi}_2 \end{cases}$	$(F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1) \cdot (F_2 - \epsilon_1 + \pi_2 - \bar{\pi}_2)$	$F_1 + F_2 - \epsilon_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1 + \pi_2 - \bar{\pi}_2$
$(0,1)$	$F_1 < \epsilon_1 < F_2 + \pi_2 - \bar{\pi}_2$	$(F_1 - \epsilon_1)(\epsilon_1 - F_2 - \pi_2 + \bar{\pi}_2)$	$F_1 - F_2 - \pi_2 + \bar{\pi}_2$
$(1,0)$	$F_2 < \epsilon_2 < F_1 + \pi_1 - \bar{\pi}_1$	$(F_2 - \epsilon_2)(\epsilon_2 - F_1 - \pi_1 + \bar{\pi}_1)$	$F_2 - F_1 - \pi_1 + \bar{\pi}_1$
$(1,1)$	$\begin{cases} F_1 > \epsilon_1 \\ F_2 > \epsilon_2 \end{cases}$	$(F_1 - \epsilon_1)(F_2 - \epsilon_2)$	$\epsilon_1 - F_2 - F_1 + \epsilon_2$
$\left(\frac{F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2}{\epsilon_2 - \epsilon_1 + \pi_2 - \bar{\pi}_2}, \frac{F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1}\right)$		$(F_1 - \epsilon_1)(F_2 - \epsilon_2)(F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1)(F_2 - \epsilon_1 + \pi_2 - \bar{\pi}_2) \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1)^{-1}(\epsilon_1 - \epsilon_2 - \pi_2 + \bar{\pi}_2)^{-1}$	0

通过求解不同均衡点的演化动力系统雅可比矩阵的行列式和迹可以得出如下结论.

命题 4 ①当 $F_1 < \epsilon_2 + \bar{\pi}_1 - \pi_1$, $F_2 < \epsilon_1 + \bar{\pi}_2 - \pi_2$ 时, $\det J(0,0) > 0$, $\text{tr } J(0,0) < 0$, 策略组合(UQ, UQ)为演化稳定策略; ②当 $F_1 < \epsilon_1$, $F_2 > \epsilon_1 + \bar{\pi}_2 - \pi_2$ 时, $\det J(0,1) > 0$, $\text{tr } J(0,1) < 0$, 则策略(UQ, NQ)为 ESS; ③当 $F_2 < \epsilon_2$, $F_1 > \epsilon_2 + \bar{\pi}_1 - \pi_1$ 时, $\det J(1,0) > 0$, $\text{tr } J(1,0) < 0$, 则策略(NQ, UQ)为 ESS; ④平衡点 $\left(\frac{F_2 - \epsilon_1 - \bar{\pi}_2 + \pi_2}{\epsilon_2 - \epsilon_1 + \pi_2 - \bar{\pi}_2}, \frac{F_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2 + \pi_1 - \bar{\pi}_1}\right)$ 为此演化系统的鞍点; ⑤当 $F_1 > \epsilon_1$ 并且 $F_2 > \epsilon_2$ 时, $\det J(1,1) > 0$, $\text{tr } J(1,1) < 0$, 则策略(NQ, NQ)为 ESS.

该命题表明质量监管部门对承包商 C_j 采取不同的惩罚监管, 承包商群体会出现不同的演化稳定策略: 当质量惩罚小于质量净收益和质量竞争损失的总和时, 承包商会演化到 UQ; 当监管部门对某一承包商采取较大惩罚而降低对其他承包商的质量监

管时, 会导致承包商质量策略的差异; 当质量惩罚与承包商的质量竞争收益相匹配时, 承包商均会采取 NQ. 从命题 4 的①, ②, ③可以看出虽然监管部门对承包商质量行为进行了监管, 但若惩罚力度不够, 承包商群体会出现 UQ, 也就出现了命题 2 产生的“监管失效”现象. 在较高的惩罚力度下, 承包商会演化出命题 4 中⑤正常质量策略, 但是由于监管部门出于私利, 并不希望设置非常大的质量惩罚, 水至清则无鱼, 导致监管策略是不稳定的, 所以命题 2 并不存在(监管、正常质量)这一演化稳定策略.

4 质量监管激励优化

外部激励对监管系统绩效提升非常重要, 有效的激励机制需要激励监管部门对承包商的工程质量实施监管, 从而将这种影响传递到工程承包商, 使其没有动机实施质量欺骗. 由于复制动态代表了某一

特定策略在一个种群中被采用的频数或频度,如果某一策略为严格劣势策略,那么这种策略将不会在种群中被学习采用,所以为了避免对工程质量不利的演化稳定策略出现,可以通过外部激励使其变为严格劣势的策略,保证对工程质量有利的策略被学习采用。

命题2得出的演化均衡对于工程质量是不利的,所以需要引入“外部激励” I (incentive)打破这种不利的均衡,将监管变为严格占优策略。当监管费用比较小时,监管部门所需要的外部激励更小。对命题4分析发现,不同的监管力度导致承包商群体演化到不同的质量策略。本文的目的是通过对监管部门的激励将承包商不利的质量策略转化成正常质量策略,如表5所示。

表5 承包商质量的监管激励矩阵

Tab.5 The supervision incentive max of contractor	
承包商 C_1 激励策略	承包商 C_2
	正常监管 外部激励
正常监管	π_1, π_2 $\pi_1 - \varepsilon_2, \pi_2 + \varepsilon_2 - (F_2 + I_2)$
外部激励	$\pi_1 + \varepsilon_1 - (F_1 + I_1),$ $\bar{\pi}_1 - (F_1 + I_1),$ $\pi_2 - \varepsilon_1$ $\bar{\pi}_2 - (F_2 + I_2)$

命题5 ① 当对承包商 C_1 的质量监管采取较大激励 $I_1 > \max\{\varepsilon_1 - F_1, \bar{\pi}_1 - \pi_1 + \varepsilon_2 - F_1\}$ 时,正常质量是 C_1 的绝对占优策略;对承包商 C_2 的质量监管激励满足 $I_2 > \varepsilon_2 - F_2$ 时,会使承包商 C_2 采取正常质量策略。② 当对承包商 C_2 的质量监管采取较大激励 $I_2 > \max\{\bar{\pi}_2 - \pi_2 + \varepsilon_1 - F_2, \varepsilon_2 - F_2\}$ 时,正常质量是 C_2 的绝对占优策略;对承包商 C_1 的质量监管激励满足 $I_1 > \varepsilon_1 - F_1$ 时,会使承包商 C_1 采取正常质量策略。

以上激励机制均能够使得承包商 C_1 和 C_2 采取正常质量策略:对承包商 C_1 采取较大的激励,对承包商 C_2 的监管激励将会减少,产生“威慑效应”。同理,对于承包商 C_2 采取较大的激励,同样可以对承包商 C_1 产生威慑效应。以上方式均能达到理想的质量监管目标,但出于成本考虑,需要找出哪种机制可以使得总激励费用 t_i (total incentive)最少。定义 $t_i = T_1 + 1/\infty = I_1 + I_2 + 1/\infty$,也就是求 T_1 最小。

$$T_1 = \min\{T_{11}, T_{12}\} = \min\{\max\{\varepsilon_1 - F_1, \bar{\pi}_1 - \pi_1 + \varepsilon_2 - F_1\} + \varepsilon_2 - F_2, \varepsilon_1 - F_1 + \max\{\pi_2 - \pi_2 + \varepsilon_1 - F_2, \varepsilon_2 - F_2\}\} \quad (9)$$

命题6 ① 在满足 $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 < \bar{\pi}_1 - \pi_1$ 和 $\bar{\pi}_2 - \pi_2 > \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ 条件下同时满足 $2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) > (\bar{\pi}_2 - \pi_2) - (\bar{\pi}_1 - \pi_1)$,选择对承包商 C_2 采取较大激励时总激励

费用最小,为 $t_{12} = \varepsilon_1 - F_1 + \bar{\pi}_2 - \pi_2 + \varepsilon_1 - F_2 + 1/\infty$;当满足条件 $2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) < (\bar{\pi}_2 - \pi_2) - (\bar{\pi}_1 - \pi_1)$,对承包商 C_1 采取较大激励可以使得总激励费用最小,为 $t_{11} = \bar{\pi}_1 - \pi_1 + \varepsilon_2 - F_1 + \varepsilon_2 - F_2 + 1/\infty$ 。② 当同时满足条件 $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 > \bar{\pi}_1 - \pi_1, \bar{\pi}_2 - \pi_2 > \varepsilon_2 - \varepsilon_1$,选择对承包商 C_1 采取较大激励可以使得总激励费用最小,为 $t_{11} = \varepsilon_1 - F_1 + \varepsilon_2 - F_2 + 1/\infty$;当满足条件 $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 < \bar{\pi}_1 - \pi_1, \bar{\pi}_2 - \pi_2 < \varepsilon_2 - \varepsilon_1$,对承包商 C_2 采取较大激励可以使得总激励费用最小,为 $t_{12} = \varepsilon_1 - F_1 + \varepsilon_2 - F_2 + 1/\infty$ 。

激励机制的最终目的是使工程质量有效提升,同时激励费用最小,通过上述命题可以找到最优的激励机制,既能保证工程质量提升,又可以缩减激励费用。对质量欺骗净收益较大的承包商实施质量监管激励,可以提高监管绩效;当承包商质量欺骗带来的竞争收益小于质量期望收益时,对其竞争承包商采取质量监管激励可以有效降低激励费用。通过质量监管激励机制优化可以降低监管费用,同时可以使承包商的工程质量得到有效提升,对于监管资源有限的管理部门具有重要作用。

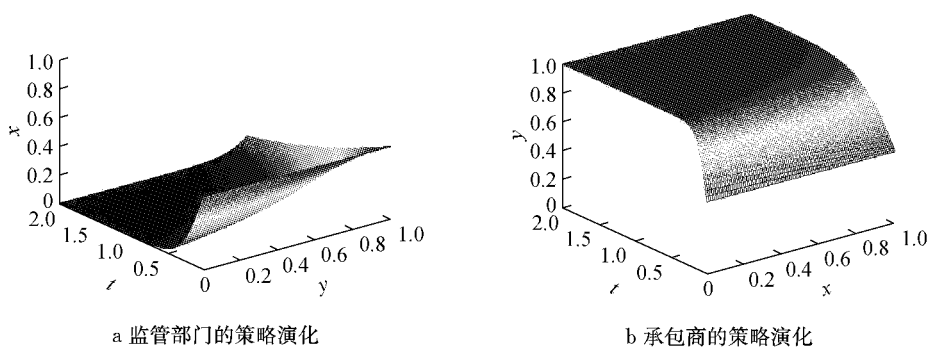
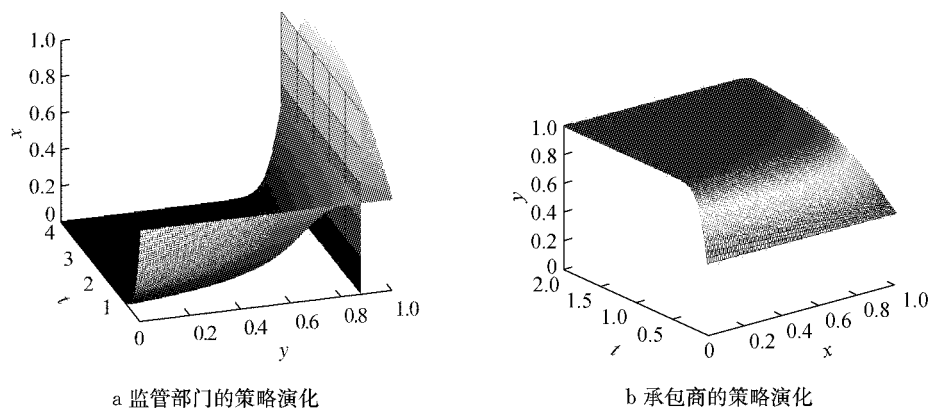
5 数值试验

为了更直观分析监管部门和承包商之间的策略演化,对博弈模型任意赋值: $O=7, \pi=10, \varepsilon=5, \bar{\pi}=20, \pi_1=7, \pi_2=8, \bar{\pi}_1=9, \bar{\pi}_2=11, \varepsilon_1=3, \varepsilon_2=4$ 。代入式(5)、式(6)可得监管部门 S_i 和承包商 C_j 的复制动态方程: $dx/dt = x(1-x)(yF-7)$; $dy/dt = y(1-y)(15-5x-xF)$,代入式(7)、式(8)可得承包商 C_1 和 C_2 的复制动态方程: $dm/dt = m(1-m)(F_1-6+3n)$; $dn/dt = n(1-n)(F_2-6+2m)$,并用软件 MATLAB2012 模拟质量群体策略的动态演化过程。

(1) 当监管部门对质量欺骗承包商采取的惩罚值为 $F=6$ 时,对监管部门和承包商的演化策略随时间变化的趋势仿真,得到图1,在这种质量惩罚下,监管部门最终会选择不监管策略($x=0$),承包商会选择质量欺骗策略($y=1$)。

如果对监管部门实施外部激励 $I=2$ 之后,可以得到图2。

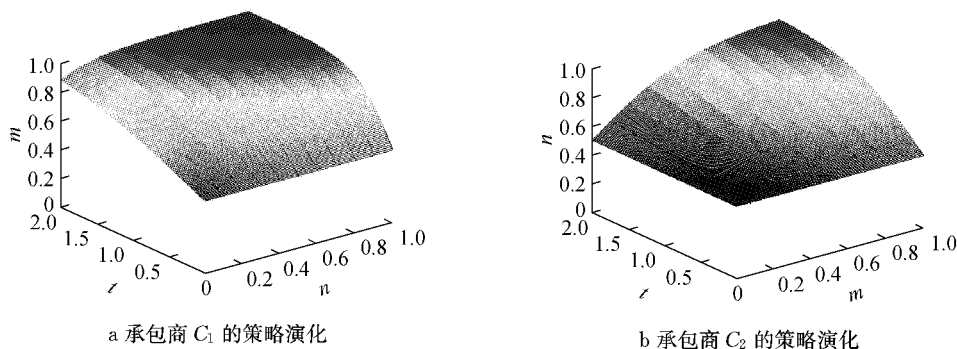
对比图1b和图2b,对监管部门实施激励将显著影响承包商进化到质量欺骗策略($y=1$)的学习时间, I 越大其学习时间越长,直至改变群体策略;对比图1a和2a,对监管部门实施激励后,对于 $y > O/F$

图 1 $F=6$ 时质量监管博弈策略演化Fig.1 Strategy evolution of quality supervision game at $F=6$ 图 2 $I=2$ 时质量监管博弈策略演化Fig.2 Strategy evolution of quality supervision game at $I=2$

的部分将最终演化到监管策略($x=1$)。

(2) 当对于承包商的监督惩罚费用组合为 $(F_1, F_2) = (2, 3)$ 和激励组合为 $(I_1, I_2) = (5, 5)$ 时,

对其进行数值模拟可以得到承包商质量策略的演化,如图 3,对承包商的质量监管施加外部激励可以使得承包商 C_1 和 C_2 均演化到正常质量策略。

图 3 $(I_1, I_2) = (5, 5)$ 时质量监管博弈策略演化Fig.3 Strategy evolution of quality supervision game at $(I_1, I_2) = (5, 5)$

6 结论

在有限理性的分析框架下本文主要探讨了工程承包商和监管部门组成的群体质量演化博弈,分别对系统内可能出现的 2 种博弈方式展开讨论。对承包商和监管部门配对的质量监管博弈研究发现:监

管部门存在监管和不监管 2 种稳定策略,承包商最终演化到质量欺骗策略,出现“监管失效”现象;进一步对承包商群体内部质量竞争博弈分析发现,当监管部门采取不同的质量监督惩罚时,承包商会演化到不同的稳定策略,即较低的惩罚对于承包商的质量欺骗没有作用,而较高的惩罚力度可促使承包商演化到正常质量策略,但是由于监管部门出于私利,

并不希望设置非常大的质量惩罚,导致监管策略是不稳定的.引入外部激励可以实现工程质量的提升,但是不同的激励组合会出现不同的监管绩效,所以探讨了降低监管费用和提升承包商工程质量的方式,发现对质量欺骗净收益较大的承包商实施质量监管激励可以提高监管绩效,当承包商质量欺骗带来的竞争收益小于质量期望收益时,对其竞争承包商采取质量监管激励可以有效降低激励费用.

参考文献:

- [1] 吴慧娟.吴慧娟司长在全国保障性安居工程质量监管工作座谈会上的讲话[J].建筑监督检测与造价,2011,4(7):46.
WU Huijuan. Department chief WU Huijuan's speech at the meeting of quality supervision work for national comfortable supportability housing project [J]. Supervision Test and Cost of Construction, 2011, 4(7): 46.
- [2] Robert P. Elliott. Quality assurance: top management's tool for construction quality [J]. Transportation Research Record, 1991, 1310: 17.
- [3] Ernzen J, Feeney T. Contractor-led quality control and quality assurance plus design-build: who is watching the quality? [J]. Transportation Research Record, 2002, 1813: 253.
- [4] Killingsworth M B, Hughes S C. Issues related to use of contractor quality control data in acceptance decision and payment: benefits and pitfalls [J]. Transportation Research Record, 2002, 1813: 247.
- [5] 王艳,黄学军,王浣尘.工程质量监控的博弈分析[J].中国软科学,2003(5):138.
- WANG Yan, HUANG Xuejun, WANG Huanchen. Game on the engineering quality supervision [J]. China Soft Science, 2003 (5): 138.
- [6] 秦旋.工程监理制度下的委托代理博弈分析[J].中国软科学,2004(4):142.
QIN Xuan. Game analysis of principal-agent relationship under the engineering supervision institution [J]. China Soft Science, 2004(4): 142.
- [7] 杨艳,陆彦.住宅质量政府监管职能定位分析与制度建议[J].工程管理学报,2013,27(1):14.
YANG Yan, LU Yan. Analyzing the functions of government supervision and making policies legislative on the residential quality[J]. Journal of Engineering Management, 2013, 27(1): 14.
- [8] 程敏,陈辉.基于演化博弈的建筑工程安全监管研究[J].运筹与管理,2011,20(6):210.
CHENG Min, CHEN Hui. Research on construction safety supervision based on evolutionary game theory[J]. Operations Research and Management Science, 2011, 20(6): 210.
- [9] 谢识予.经济博弈论[M].上海:复旦大学出版社,2002.
XIE Shiyu. Economic game theory [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2002.
- [10] Weibull W J. Evolutionary game theory [M]. Boston: MIT Press, 1998.
- [11] 王永平,孟卫东.供应链企业合作竞争机制的演化博弈分析[J].管理工程学报,2004,18(2):96.
WANG Yongping, MENG Weidong. Evolutionary game analysis on co-competition mechanism of supply chain [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2004, 18 (2): 96.
- [12] Friedman D. Evolutionary games in economics [J]. Econometric, 1991, 59: 637.