

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.04.024

基于演化博弈的水生态 PPP 项目第三方监管策略

张亚琼¹, 何楠², 杨丝雯¹, 王雷³, 袁胜楠¹

(1. 华北水利水电大学管理与经济学院, 河南 郑州 450045; 2. 华北水利水电大学公共管理学院, 河南 郑州 450045; 3. 航空工业哈尔滨飞机工业集团有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150060)

摘要:政府与社会资本合作(public-private partnership, PPP)项目运营期较长,容易出现监管俘获从而削弱政府监管职能的问题。以政府方劣后为前提,引入独立的第三方监管机构,对水生态 PPP 项目进行监管,构建博弈模型,从演化博弈的视角分析政府的奖惩策略对博弈双方主体行为的影响。模拟结果显示,监管机构对政府惩罚短期负面影响十分显著,但对长期影响较小;同时,仿真结果发现了政府奖励的范围,也找出了第三方监管机构成本与其监管绩效的关系。

关键词:水生态; PPP 项目; 第三方监管; 演化博弈

中图分类号:TV93;F407.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)04-0166-07

Third-party supervision strategy of water ecological PPP project based on evolutionary game theory // ZHANG Yaqiong¹, HE Nan², YANG Siwen¹, WANG Lei³, YUAN Shengnan¹ (1. School of Management and Economics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 2. School of Public Administration, North China University of Water Resources and Hydropower, Zhengzhou, 450045, China; 3. AVIC Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd., Harbin 150060, China)

Abstract: Public private partnership (PPP) projects have a long operation period, which is prone to regulatory capture and weaken the regulatory function of the government. Based on the premise that the government is inferior, an independent third-party supervision agency is introduced to supervise the water ecological PPP project, and a game model is constructed to analyze the impact of the government's reward and punishment strategies on the behavior of the players from the perspective of evolutionary game. The simulation results show that the short-term negative impact of regulators on government punishment is very significant, but the long-term impact is small. At the same time, the simulation results find the scope of government rewards, and also find out the relationship between the cost of third-party regulators and their regulatory performance.

Key words: water ecology; PPP project; third-party supervision; evolutionary game theory

水利项目具有强正外部性与社会属性^[1],肩负着改善人民生活环境的使命。我国水利项目的设计期、施工期较长,建造风险大,回报率低,主要依赖国家财政支出^[2]。水生态项目以水环境的修复和保护为目标,是集公益属性与经济属性于一身的准公益项目,需要前沿的科技与管理模式参与设计、建造和运营。政府与社会资本合作(public-private partnership, PPP)项目允许社会资本全生命周期的参与,在有效缓解地方政府财政压力的同时提高了财政资金的应用质量和效率^[3]。然而,截至 2020 年 1 月,水生态 PPP 项目平均投资额为 101 089.7 万元,多为政府购

买服务,主要原因为利益相关者众多,监管机构繁杂,权力不集中,参与方可能违规来获得超额收益^[4]。传统政府监管模式存在隐匿信息、蓄意伪造、兜底协议、政企共谋等问题^[5-7],且手段单一、效率低、成本高、效果差。引入独立的第三方监管机构,充分发挥第三方机构的监督作用,可以提高监督效率和项目产出。我国学者近期对 PPP 项目中第三方监管问题进行了诸多研究,尹怡林等^[8]经过对比西方政府监管模式,建议我国应建立项目直接监督部门,运用更加专业的团队来监督、管理项目;杨炳霖等^[9]认为应以“监管社会”的概念重塑社会监

基金项目:河南省高等学校哲学社会科学应用研究重大项目(2017-YYZD-04)

作者简介:张亚琼(1981—),女,博士研究生,研究方向为水生态类 PPP 项目管理。E-mail: 18107053@qq.com

督职能,提出政府与社会合作的监督管理模式;叶晓甦等^[10]认为应根据不同领域分别设置独立监管机构参与项目全过程。不同行业背景下对第三方监管的需求也十分巨大,如,环境治理领域、食品安全领域、医药卫生领域等都需要第三方监管。刘朝等^[11]通过构建博弈模型对第三方监管在环境治理领域的应用进行分析,以公众、媒体以及其他非政府独立的环保组织构成监管组织;张曼等^[12]呼吁在食品安全领域引入独立于企业和政府之外的第三方监管机构;周瑶等^[13]对我国医疗改革后过度就医问题提出了第三方监管的方法。学者们对 PPP 项目第三方监管的研究多处于定性研究阶段,研究方法以博弈论居多。水生态 PPP 项目关系民生,且牵扯大量非完全理性的利益相关者,设计更为有效的监管模式对水生态项目进行管控十分必要。本文基于政府劣后原则引入第三方监管机构,着重研究政府对监管机构的奖励与惩罚措施,以参与人的“有限理性”为前提,运用动态的演化博弈理论^[14]构建第三方监管机构与社会资本方之间的博弈模型,根据模型对动态进化稳定策略 (evolution stable strategy, ESS) 仿

真,分析政府对第三方监管机构的策略以对社会资本方的影响,以期政策制定提供理论依据。

1 第三方监管机构与社会资本方演化博弈模型构建与分析

1.1 博弈主体的界定

社会资本方指包括外资在内的所有非公有制企业。PPP 项目经典的合作模式为政府与社会资本方共同出资组建项目公司,由项目公司对项目进行设计、建设和运营,政府相应部门负责对项目进行监管,如图 1(a)所示。本研究假设,在 PPP 项目运营过程中,政府以劣后级的身份存在,并不直接参与项目。政府在发起项目后,指定第三方监管机构,对各参与方进行监督。此监管机构受高别级政府部门领导,但又相对独立,具有完全的信息上报权力和部分管理权。机构可根据获得信息的性质直接传达至相关高级政府部门甚至中央政府,由相应的职能部门为其下放权力进行管理。如图 1(b)所示,这种权力可以是传播的权力,利用媒体以及非政府环境组织的职能范围对违规行为进行曝光;也可以是直接接

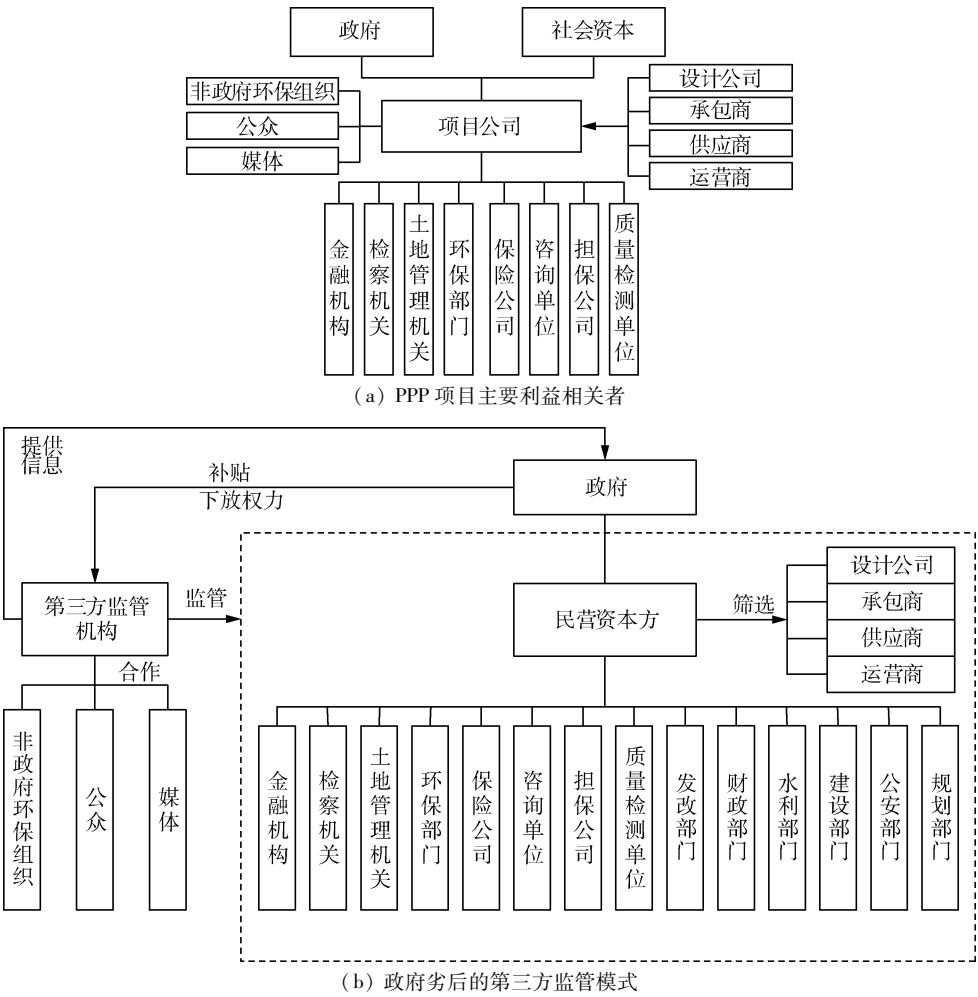


图 1 水生态 PPP 项目关系框架

Fig.1 Framework of water ecology PPP project

管的权力,从违规利益相关者手中直接接管项目,进行审查后移交司法机关,引入新企业对项目继续管理。

本文将博弈模型参与主体设定为第三方监管机构与社会资本方。其中,第三方监管机构为经过合法途径被地方政府选定的、在政府授权范围内的机构,负责对项目全生命周期的利益相关者进行监督和管理,包括与社会资本方有关联的部门,如金融机构、检察机关等,用来防止违规操作以及腐败问题。另外,他们也会与外部利益相关者,如非政府环保组织、公众以及媒体等合作进行有效监管。

1.2 博弈假设与支付函数的构建

假设 1: 博弈主体具有有限理性的特点,他们对各自的收益水平、博弈规则和博弈过程是完全了解的。

假设 2: 设社会资本方对第三方监管机构的策略集为 $S = \{\text{配合}, \text{不配合}\}$, 采取“配合”与“不配合”的策略概率分别为 $x, 1-x$, 其中 $0 < x < 1$; 第三方监管机构对社会资本方及其利益相关者的监管策略集为 $S_g = \{\text{严格}, \text{放松}\}$, 采取“严格”与“放松”的概率为 $y, 1-y$, 其中 $0 < y < 1$ 。其中, 配合监管与严格监管的策略概率表示配合与严格的力度。

假设 3: 设政府方在社会资本方合规运营时, 会给第三方监管部门奖励 A_g ; 在监管不力, 即放松监管的情况, 对社会资本方的处罚为 P_1 ; 政府对第三方监管机构的处罚为 P_2 。

假设 4: 若第三方监管机构加大监管力度, 即严格监管所产生的成本为 C_g ; 社会资本方配合监管所产生的利润为 R_n ; 而在投机的行为下产生超额利润 R_u ; 配合监管的成本为 C_u 。设 $R_u > R_n, C_g$ 为政府发给第三方监管机构的补贴, 但并不属于奖励 A_g 。

1.3 模型构建

设社会资本方配合监管的比例为 x , 则不配合监管的比例为 $1-x$; 第三方监管机构采取严格监管策略比例为 y , 则选择放松监管策略的比例为 $1-y$ 。政府授权下第三方监管机构与社会资本方博弈的收益情况见表 1。

表 1 第三方监管部门与社会资本演化博弈收益情况

Table 1 Income of evolutionary game between third-party supervision department and social capital

社会资本方	社会资本方/第三方监管机构的收益	
	第三方监管机构严格 y	第三方监管机构放松 $1-y$
配合 x	$R_n - C_u/A_g - C_g$	$R_n - C_u/0$
不配合 $1-x$	$-P_1/-C_g$	$R_u/-P_2$

社会资本方的平均收益计算公式为

$$U_e = xU_1 + (1-x)U_2 \quad (1)$$

$$\text{其中 } U_1 = y(R_n - C_u) + (1-y)(R_u - C_u)$$

$$U_2 = -P_1y + (1-y)R_u$$

式中: U_e 为社会资本方的平均收益; U_1 为社会资本方在配合监管时获得的期望收益; U_2 为不配合监管策略下的期望收益。

根据文献[15], 计算双方复制动态方程, 社会资本方的复制动态方程为

$$f(x, y) = \frac{dx}{dt} = x(U_1 - U_e) = x(1-x)(U_1 - U_2) = x(1-x)[y(R_n - P_1 - 2R_u) + 2R_u - C_u] \quad (2)$$

同理, 第三方监管机构平均收益的计算公式为

$$V_e = yV_1 + (1-y)V_2 \quad (3)$$

$$\text{其中 } V_1 = x(A_g - C_g) + (1-x)(-C_g)$$

$$V_2 = (1-x)(-P_2)$$

式中: V_e 为第三方监管机构平均收益; V_1 为加大监管力度、选择严格监管情况下第三方监管机构获得的期望收益; V_2 为策略放松监管情况下第三方监管机构获得的期望收益。

第三方监管机构的复制动态方程为

$$g(x, y) = \frac{dy}{dt} = y(V_1 - V_e) = y(1-y)(V_1 - V_2) = y(1-x)[x(A_g + P_2) - (C_g + P_2)] \quad (4)$$

1.4 模型分析

1.4.1 局部均衡点稳定性分析

在演化博弈过程中, 令 $f(x, y) = 0$ 和 $g(x, y) = 0$, 可以得到以下 5 个均衡点: $A(0, 0), B(1, 0), C(0, 1), D(1, 1), E\left(\frac{C_g + P_2}{A_g + P}, \frac{C_u - 2R_u}{R_n - P_1 - 2R_u}\right)$ 。令 $x^* = \frac{C_g + P_2}{A_g + P}, y^* = \frac{C_u - 2R_u}{R_n - P_1 - 2R_u}$, 因双方策略选择为概率形式, 故 E 点仅在 $0 < x^* < 1$ 和 $0 < y^* < 1$ 中存在。

利用雅克比矩阵探讨此 5 个均衡点的局部稳定性:

$$J = \begin{bmatrix} f(x, y)/dx & f(x, y)/dy \\ g(x, y)/dx & g(x, y)/dy \end{bmatrix} \quad (5)$$

均衡点的稳定性通常根据行列式值 ($\det J$) 和它的迹 ($\text{tr} J$) 的正负性来判断: 当 $\det J > 0$ 且 $\text{tr} J < 0$ 时, 表示所对应的均衡点趋于稳定; 当 $\det J > 0$ 且 $\text{tr} J > 0$ 时, 均衡点不稳定; 当 $\det J < 0$ 时, 无论 $\text{tr} J$ 的值如何, 此时的均衡点均为鞍点。将 5 个均衡点带入以上矩阵运算分析后, 得到判定结果如表 2 所示。

1.4.2 演化路径分析

根据表 2 结果, 将 A, B, C, D, E 5 个点画入坐标

表2 局部均衡点的稳定性分析结果

Table 2 Stability analysis results of local equilibrium points

策略	条件	均衡点	detJ	trJ	判定结果
1	$2R_u - C_u > 0$ $A_g - C_g < 0$ $R_n - P_1 - C_u > 0$	$A(0,0)$	-	±	鞍点
		$B(1,0)$	+	-	稳定
		$C(0,1)$	+	+	不稳定
		$D(1,1)$	-	+	鞍点
2	$2R_u - C_u < 0$ $A_g - C_g < 0$ $R_n - P_1 - C_u > 0$	$A(0,0)$	+	-	稳定
		$B(1,0)$	-	±	鞍点
		$C(0,1)$	+	+	不稳定
		$D(1,1)$	-	±	鞍点
3	$2R_u - C_u < 0$ $A_g - C_g > 0$ $R_n - P_1 - C_u > 0$	$A(0,0)$	+	-	稳定
		$B(1,0)$	-	±	鞍点
		$C(0,1)$	+	+	不稳定
		$D(1,1)$	+	-	稳定
		$E(x^*, y^*)$	-	0	中心点
4	$2R_u - C_u < 0$ $A_g - C_g > 0$ $R_n - P_1 - C_u < 0$	$A(0,0)$	+	-	稳定
		$B(1,0)$	+	+	不稳定
		$C(0,1)$	-	±	鞍点
		$D(1,1)$	-	±	鞍点
5	$2R_u - C_u > 0$ $A_g - C_g < 0$ $R_n - P_1 - C_u < 0$	$A(0,0)$	-	±	鞍点
		$B(1,0)$	+	-	稳定
		$C(0,1)$	-	±	鞍点
		$D(1,1)$	+	+	不稳定
6	$2R_u - C_u < 0$ $A_g - C_g < 0$ $R_n - P_1 - C_u < 0$	$A(0,0)$	+	-	稳定
		$B(1,0)$	-	±	鞍点
		$C(0,1)$	-	±	鞍点
		$D(1,1)$	+	+	不稳定
7	$2R_u - C_u > 0$ $A_g - C_g > 0$ $R_n - P_1 - C_u > 0$	$A(0,0)$	-	±	鞍点
		$B(1,0)$	-	±	鞍点
		$C(0,1)$	+	+	不稳定
		$D(1,1)$	+	-	稳定

轴中。不同参数条件下,系统会按照不同的路径沿坐标轴进行演化,弧线加箭头表达了系统的演化路径,如图2所示。博弈双方会预判对方的策略而做出调整,使自身利益最大化,但最终会达到一个相对稳定的平衡点,即ESS^[16]。由图2中可以看出,策略1中,当社会资本方违规操作得到的超额利润大

于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励小于其严格监管的成本且社会资本方盈利大于配合监管的成本时,双方策略将向B点{配合,放松}策略集演化;策略2中,当社会资本方违规操作得到的超额利润小于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励小于其严格监管的成本且社会资本方盈利大于配合监管的成本时,双方策略将向A点{不配合,放松}策略集演化;策略3中,当社会资本方违规操作得到的超额利润小于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励大于其严格监管的成本且社会资本方盈利大于配合监管的成本时,双方策略将向A点{不配合,放松}策略集演化;策略4中,当社会资本方违规操作得到的超额利润小于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励大于其严格监管的成本且社会资本方盈利小于配合监管的成本时,双方策略将向A点{不配合,放松}与D点{配合,严格}策略集演化;策略5中,当社会资本方违规操作得到的超额利润大于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励小于其严格监管的成本且社会资本方盈利小于配合监管的成本时,双方策略将向B点{配合,放松}策略集演化;策略6中,当社会资本方违规操作得到的超额利润小于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励小于其严格监管的成本且社会资本方盈利小于配合监管的成本时,双方策略将向A点{不配合,放松}策略集演化;策略7中,当社会资本方违规操作得到的超额利润大于配合监管的利润、政府对第三方监管机构的奖励大于其严格监管的成本且社会资本方盈利大于配合监管的成本时,双方策略将向D点{配合,严格}策略集演化。

系统最终的稳定策略为{不配合,放松}、{配合,放松}、{配合,严格},3个策略集分别在A(0,

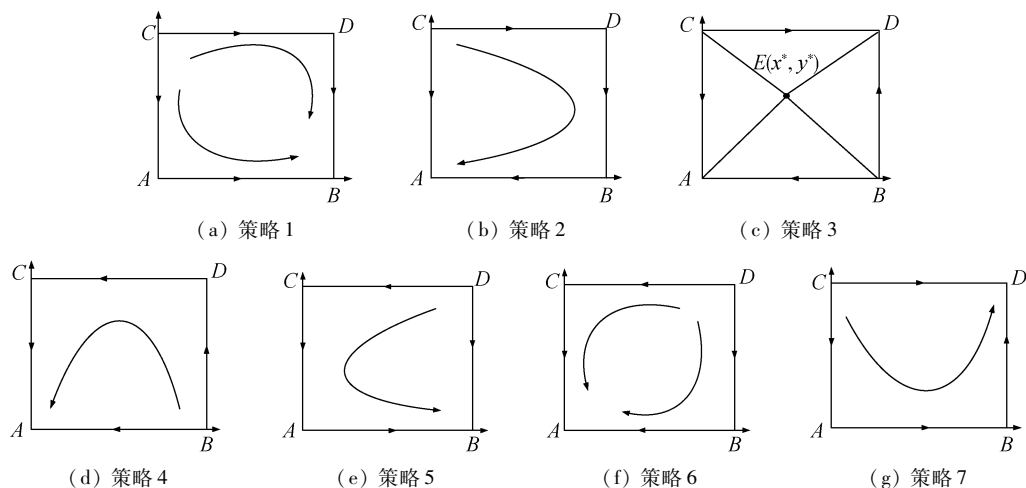


图2 策略1~7的演化路径

Fig. 2 Evolutionary path of 1~7 strategies

0)、 $B(1,0)$ 、 $D(1,1)$ 3 个点上。据此,当且仅当 $2R_u - C_u > 0, A_g - C_g > 0, R_n - P_1 - C_u > 0$ 时,系统会稳定于最优策略{配合,严格}上;当且仅当 $2R_u - C_u < 0, A_g - C_g < 0$ 时,系统则会趋于最劣策略{不配合,放松}。稳定的概率取决于中心点 $E(x^*, y^*)$ 的值。为使系统向最优策略组合逐渐演化,接下来将通过政府对第三方监管机构的策略调控,观察社会资本方的策略选择。

2 数值仿真

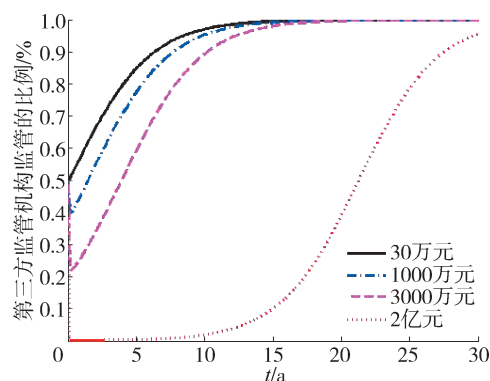
结合水生态 PPP 项目的研究案例,对博弈模型进行仿真。初始赋值为: $R_n = 700$ 万元, $R_u = 1000$ 万元, $P_1 = 60$ 万元, $P_2 = 30$ 万元, $A_g = 40$ 万元, $C_u = 10$ 万元, $C_g = 5$ 万元。对上述各因素调整并仿真,最终发现 3 个影响因素有意义,分别为政府的惩罚 P_2 ,奖励 A_g 以及成本 C_g 。利用 MATLAB 软件对此 3 个因素进行模拟仿真,设初始状态下双方策略的概率均为 50%,即 $x = y = 0.5$ 。

a. 政府对第三方监管机构的惩罚力度对社会资本方策略的影响。在其余参数不变的情况下,将政府对第三方监管机构的惩罚力度分别取值: $P_2 = 1000$ 万元, $P_2 = 3000$ 万元, $P_2 = 2$ 亿元。 $P_2^* = 30$ 万元为原始赋值。如图 3(a) 所示,当政府增大对第三方监管机构的惩罚时,第三方监管机构虽然会迅速趋于放松监管的比例,即每一个惩罚策略都会有一个几乎垂直的下落,趋于放松监管,但在长期项目运营期内,仍然会缓慢趋于严格管理策略,图 3(b) 为对图 3(a) 沿纵坐标垂直下落的演化路径的放大,结果显示较为清楚。此结果为政府对第三方监管机构惩罚力度的策略制定提供参考。

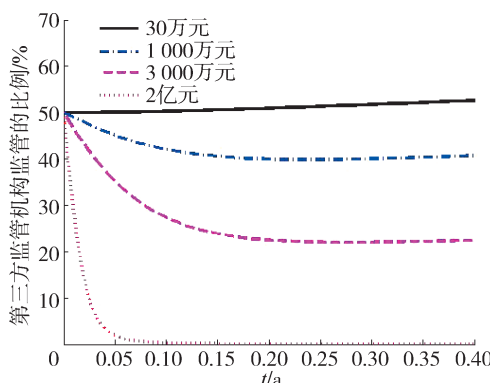
b. 政府对第三方监管机构的奖励对社会资本方策略的影响。在其余参数不变的情况下,将政府对第三方监管机构的奖励分别取值: $A_g = 4$ 万元, $A_g = 5$ 万元, $A_g = 15$ 万元。 $A_g^* = 40$ 万元为初始赋值。为了寻找水生态项目中政府对第三方监管机构奖励的临界值,故将仿真数值以递减的方式进行选取,得到仿真结果见图 4,当政府给予第三方监管机构的奖励 $A_g > 5$ 万元时,会使其逐渐趋于严格监管的决策,且演化路径收敛的快慢与取值的大小成正比。此阈值可为政府指定奖励政策与金额范围提供依据。

c. 第三方监管机构监管的成本变化对其策略选择的影响。在其余参数不变的情况下,初始值为 $C_g^* = 5$ 万元,以递增的方式对第三方监管机构运营成本取值: $C_g = 10$ 万元, $C_g = 40$ 万元, $C_g = 100$ 万元,从而研究第三方监管机构的成本临界值以及运营成

本对第三方监管机构决策的影响。监管比例的演化拟合结果如图 5 所示,可见当第三方监管机构实施监管的成本若高于 40 万元时,会有一个明显的下降趋势,即高过此成本的情况下,会使第三方监管机构趋于放松管理的决策。此结果可为政府引入第三方监管机构实施补贴政策提供参考。



(a) 惩罚力度对监管机构策略选择演化路径的影响



(b) 放大后的演化路径

图 3 惩罚力度对监管机构策略选择演化路径的影响和放大后的演化路径

Fig. 3 Impact of punishment on evolution path of supervision strategy choice and enlarged evolution path

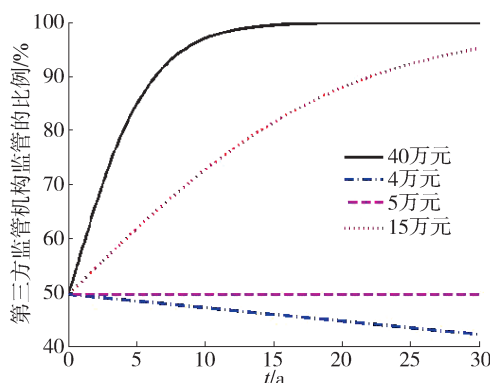


图 4 奖励大小对监管机构策略选择演化路径的影响

Fig. 4 Impact of reward size on evolution path of supervision strategy choice

3 讨论与建议

第三方监管机构与社会资本方在水生态 PPP

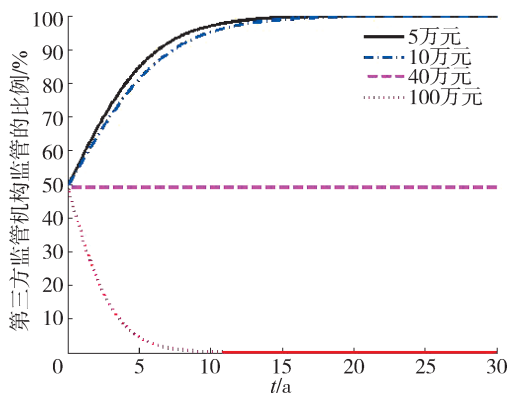


图5 监管成本对第三方监管机构策略选择演化路径的影响

Fig.5 Impact of supervision cost on evolutionary path of third party supervision strategy choice

项目中最优组合为{配合,严格},即均衡点 $D(1,1)$ 。然而由于现实中投机行为产生超额利润过大,以及不健全的合作模式导致博弈双方的策略选择向最劣组合{不配合,放松},即均衡点 $A(0,0)$ 发展。在实现最优策略的导向下,根据第三方监管机构的复制动态方程的仿真结果发现,首先,第三方监管机构对政府的惩罚具有高度敏感性,短期的惩罚将严厉打击监管机构严格监管的积极性,且长期合作下,第三方监管机构最终会趋于严格监管;其次,对奖励递减取值后发现,监管机构对奖励的减少并不敏感,但当奖励低于5万元时会快速趋于放松监管的决策;最后,第三方监管机构的运营成本为影响其监管效率的重要因素,仿真结果发现第三方监管机构存在可能投机的拐点,如第三方监管机构的运营成本高于此拐点时,会使其沿“放松”监管的策略发展。

根据模型仿真结果,水生态项目中政府引入第三方监管机构需要注意以下几方面:

a. 政府处罚策略。政府的惩罚会对第三方监管机构在初期有一个快速下落趋于放松监管策略,但会缓慢趋于严格监管策略。即使将取值相当大时,结果也显示在项目15a后也趋于严格监管。因此,应忽略短期惩罚措施,加大长期大额的处罚策略

b. 政府奖励与补贴策略。本文假设政府引入第三方监管机构的支付金额基于其运营成本而设计。通过仿真结果,可以根据项目本身规模,先预估最低监管成本再制定政策。通过制定优惠政策例如通过减免税费、提供办公场所或制定地方扶持政策等,助其降低其运营成本。另外,在对奖励金额递减取值后发现,减少奖励并不会对其监管效率产生严重影响。因此,在保证监管效率的前提下政府可小金额、多阶段对监管机构进行奖励。

c. 应完善PPP项目的监管机制及法律法规。尽管有许多政策表明支持在PPP项目中引入第三

方监管,但大多政策停留在原则性表述层面,缺少实用性措施。又因PPP项目运营期较长,政策未上升至法律层面,使第三方监管机构缺乏法律的规范与保护。因此,需要完善水生态PPP项目的监管机制,在引入第三方监管机构的同时,还应提高相应的立法层次,对第三方监管机构的权益进行保护和约束,确保PPP项目的可持续发展。

4 结 语

本文基于政府劣后,引入了第三方监管机构对水生态PPP项目进行监管,并对政府策略对博弈双方的影响进行了演化分析。构建了第三方监管机构与社会资本方之间关系的演化博弈模型,通过对各种策略的演化路径进行了仿真,并根据仿真结果,提出对策建议,为政府在水生态PPP项目中制定对第三方监管机构的奖惩制度提供理论参考依据。

参考文献:

- [1] 彭清辉,曾令华.我国政府投资基础设施的边界研究[J].求索,2009(11):71-72. (PENG Qinghui, ZENG Linghua. Chinese government investments in infrastructure boundary[J]. Journal of Seeker, 2009(11):71-72. (in Chinese))
- [2] 朱梦恩.我国水利基础设施BOT融资模式的应用研究[D].杭州:浙江大学,2017.
- [3] 何一慧,熊华平.城市水生态PPP项目VFM定性评价方法研究[J].人民长江,2019,50(6):161-165. (HE Yihui XIONG Huaping. Research on VFM qualitative evaluation method for urban water ecology PPP project[J]. Yangtze River, 2019, 50(6):161-165. (in Chinese))
- [4] 高若兰,鲍琴.基于演化博弈的PPP项目运营期政府监管方式选择研究[J].运筹与管理,2019,28(4):155-162. (GAO Ruolan, BAO Qin. Selection of government supervision mode during the operational period in PPP projects based on evolutionary game theory[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(4):155-162. (in Chinese))
- [5] 陆鑫,尹贻林,王翔.PPP项目第三方监管机制初探[J].价值工程,2018,37(23):65-68. (LU Xin, YIN Yilin, WANG Xiang. The third party supervision mechanism of PPP project[J]. Value Engineering, 2018, 37(23):65-68. (in Chinese))
- [6] 王守清,刘婷.PPP项目监管:国内外经验和政策建议[J].地方财政研究,2014(9):7-12. (WANG Shouqing, LIU Ting. PPP project supervision: global wide experience and policy recommendations[J]. Sub National Fiscal Research, 2014(9):7-12. (in Chinese))
- [7] 胡一石,盛和太,刘婷,等.PPP项目公司资本结构的影响因素分析[J].工程管理学报,2015,29(1):102-106. (HU Yishi, SHENG Hetai, LIU Ting, et al. Factors affecting capital structure of PPP projects[J]. Journal of Engineering

- Management,2015,29(1):102-106. (in Chinese))
- [8] 尹贻林,严玲. 论政府投资项目建设组织实施方式及其监管模式[J]. 中国软科学,2003(12):16-21. (YIN Yilin, YAN Ling. Research on the supervision and management mode of public project [J]. China Soft Science,2003(12):16-21. (in Chinese))
- [9] 杨炳霖. 监管治理体系建设理论范式与实施路径研究: 回应性监管理论的启示[J]. 中国行政管理,2014(6): 49-56. (YANG Binglin. A study on the theoretical paradigm and roadmap of enhancing China's regulatory governance system: implications of responsive regulatory theory[J]. Chinese Public Administration,2014(6):49-56. (in Chinese))
- [10] 叶晓甦,张永艳,李小朋. 我国 PPP 项目政府监管机制设计[J]. 建筑经济,2010(4):93-96. (YE Xiaosheng, ZHANG Yongyan, LI Xiaopeng. China's PPP project government supervision mechanism design [J]. Construction Economy,2010(4):93-96. (in Chinese))
- [11] 刘朝,赵志华. 第三方监管能否提高中国环境规制效率——基于政企合谋视角[J]. 经济管理,2017(7):34-44. (LIU Zhao, ZHAO Zhihua. Can the third party supervision improve the efficiency of China environment regulation:based on the perspective of collusion between government and enterprises [J]. Business Management Journal,2017(7):34-44. (in Chinese))
- [12] 张曼,唐晓纯,普冀喆,等. 食品安全社会共治:企业、政府与第三方监管力量[J]. 食品科学,2014,35(13): 286-292. (ZHANG Man, TANG Xiaochun, PU Mizhe, et al. Co-regulation in food safety governance: enterprises, government and the third party [J]. Food Science,2014, 35(13):286-292. (in Chinese))
- [13] 周瑶,梅达成. 遏制过度医疗之第三方监管研究[J]. 医学与哲学,2018,39(1):52-54. (ZHOU Yao, MEI Dacheng. Research on the third-party supervision of excessive medical treatment [J]. Medicine & Philosophy, 2018,39(1):52-54. (in Chinese))
- [14] SMITH J M, PRICE G R. The Logic of animal conflict [J]. Nature,1973,246(2):15-18.
- [15] TAYLOR P D, JONKER L B. Evolutionarily stable strategies and game dynamics[J]. Mathematical Bioences, 1978,40(1/2):145-156.

(收稿日期:2020-03-29 编辑:王 芳)

(上接第 147 页)

- [40] 彭兆弟,李胜生,刘庄,等. 太湖流域跨界区农业面源污染特征[J]. 生态与农村环境学报,2016,32(3):458-465. (PENG Zhaodi, LI Shengsheng, LIU Zhuang, et al. Characteristics of transboundary non-point source agricultural pollution in the Taihu Valley [J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2016,32(3):458-465. (in Chinese))
- [41] 林秀春,张宇,江明坤. 荻芦流域农业面源污染负荷研究[J]. 中国水土保持,2013(8):50-53. (LIN Xiuchun, ZHANG Yu, JIANG Mingkun. Pollution load of agricultural non-point source in Qiulu Watershed [J]. Soil and Water Conservation in China,2013(8):50-53. (in Chinese))
- [42] 傅春,康晚英. 环鄱阳湖区农业面源污染 TN/TP 时空变化与分布特征[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(7):864-868. (FU Chun, KANG Wanying. Research on spatial characteristics of TN & TP of agricultural non-point source pollution in the surrounding area of the Poyang Lake [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2012,21(7):864-868. (in Chinese))
- [43] 朱梅. 海河流域农业非点源污染负荷估算与评价研究 [D]. 北京:中国农业科学院,2011.
- [44] 罗文敏,张清海,林绍霞,等. 贵州省农业非点源污染因子识别及其敏感性评价[J]. 江苏农业科学,2010(3): 401-403. (LUO Wenmin, ZHANG Qinghai, LIN Shaoxia, et al. Identification of agricultural non-point source pollution factors and their sensitivity evaluation in Guizhou Province [J]. Jiangsu Agricultural Science,2010(3):401-403. (in Chinese))
- [45] 梁流涛,冯淑怡,曲福田. 农业面源污染形成机制:理论与实证[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(4):74-80. (LIANG Liutao, FENG Shuyi, QU Futian. Forming mechanism of agricultural non-point source pollution: a theoretical and empirical study [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(4):74-80. (in Chinese))
- [46] 张大弟,张晓红,章家骥,等. 上海市郊区非点源污染综合调查评价[J]. 上海农业学报,1997,13(1):31-36. (ZHANG Dadi, ZHANG Xiaohong, ZHANG Jiaqi, et al. Integrated research and evaluation on non-point source pollution in Shanghai Suburbs [J]. Acta Agriculturae Shanghai,1997,13(1):31-36. (in Chinese))
- [47] 陈守越. 南通市农业面源污染负荷研究与综合评价 [D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [48] 熊汉锋,万细华. 农业面源氮磷污染对湖泊水体富营养化的影响[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):25-27. (XIONG Hanfeng, WAN Xihua. Investigation of nitrogen and phosphorus loadings on Liangzi Lake from agricultural non-point source [J]. Environmental Science & Technology,2008,31(2):25-27. (in Chinese))
- [49] 宋太平,庄大方,陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学,2012,33(1):110-116. (SONG Daping, ZHUANG Dafang, CHEN Wei. Risk assessment of the farmland and water contamination with the livestock manure in Anhui Province [J]. Environmental Science,2012,33(1):110-116. (in Chinese))

(收稿日期:2020-02-16 编辑:王 芳)