

公众参与下交通基础设施公私合作项目风险分担 再谈判演化博弈

沈 炜¹, 周林意²

(1. 同济大学 经济与管理学院 上海 200092; 2. 上海交通大学 国际与公共事务学院, 上海 200240)

摘要: 通过构建公众参与下交通基础设施公私合作(public-private partnership, PPP)项目风险分担再谈判演化博弈模型,分析如何规避企业再谈判过程中的机会主义行为。结果表明:当企业采取非机会主义行为策略所获得的收益小于采取机会主义行为策略所获得的收益时,公众参与能促使企业采取非机会主义行为策略;在公众参与概率较低的情况下,规避企业机会主义行为的一种重要方式是提高政府对企业机会主义行为的惩罚力度;不同的公众监督水平对政府处罚力度的要求不一样,在公众监督意愿较低的情况下需要政府加大对企业的惩罚力度才能迫使企业转变机会主义行为。

关键词: 公众参与;公私合作;风险分担;机会主义行为;演化博弈

中图分类号: F512.7

文献标志码:

Evolutionary Game of Risk-sharing Renegotiation for Transportation Infrastructure PPP Projects Under Public Participation

SHEN Wei¹, ZHOU Linyi²

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of International and Public Affairs, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: By constructing an evolutionary game model under public participation, how to avoid the opportunistic behavior in risk-sharing renegotiation for transportation infrastructure public-private partnership (PPP) projects was analyzed. It is shown that public participation can force enterprises to adopt non-opportunistic behavior strategy when the benefit of non-opportunistic behavior is less than that of opportunistic behavior; the increase of punishment level for the opportunistic behavior of enterprises is an important way for the avoidance of opportunistic behavior

under the low probability of public participation; a more severe government punishment should be taken to change enterprises' opportunistic behavior under the low probability of public participation because the different probabilities of public participation have different requirements for government punishment.

Key words: public participation; public-private partnership (PPP); risk-sharing; opportunistic behavior; evolutionary game

交通基础设施建设属于资本密集型行业,需要大量的资本投入,而且建设周期较长,投资形成生产能力和回收投资资金的周期也较长。交通基础设施的公共产品属性使得该类建设项目很难依靠商业性投融资提供资金的需求,必须引入灵活多样的市场化融资方式。

公私合作(public-private partnership, PPP)是交通基础设施建设的一种重要方式。我国PPP模式可以追溯到20世纪80年代,由于经验不足,在建设运营过程中遗留了不少问题,因此一度出现停滞的现象。进入21世纪后,随着城市化进程的推进,对城市基础设施建设也提出了新的要求,而如何获取城市基础设施建设所必需的资金是各地区在城市化建设过程中面临的首要问题之一。

无数的PPP项目案例表明,有效合理的风险分担是PPP项目成功的关键。然而,由于PPP项目周期较长,项目实施过程中不确定性因素较多,再加上合同的不完备性与不灵活性,因此PPP项目再谈判经常发生。PPP项目再谈判中政府与企业可能存在

收稿日期: 2021-12-29

基金项目: 国家社科基金重大项目(13&ZD176)

第一作者: 沈 炜(1982—),男,工学博士,主要研究方向为交通管理。E-mail: 1019083652@qq.com

通信作者: 周林意(1985—),男,管理学博士,主要研究方向为环境管制、风险治理。

E-mail: zhouliny1017@163.com



论文
拓展
介绍

不同的目标,并且存在明显的信息不对称,合同的不完备性和外部性等增加了企业机会主义行为的概率。因此,有必要采取措施使企业机会主义行为降到最低。

风险分配不当是诱发PPP项目再谈判的重要因素^[1]。如果社会资本方承担的风险超过自身承受能力,就会使PPP项目出现财务风险,并影响项目质量。PPP项目再谈判就是弥补初始项目投标过程中可能存在的缺陷^[2]。已有成果从不同角度对PPP项目风险分担再谈判进行了研究。邓斌超等^[3]基于“物理-事理-人理”理论构建了PPP项目风险分担再谈判流程。Liang等^[4]指出,多人联盟博弈模型能优化参与方之间的合作盈余分配,减少重新谈判轮数,避免冗长的谈判流程,从而降低再谈判损失。何涛等^[5]采用随机合作博弈方法分析了PPP项目最优风险分配方案,并计算了风险转移后PPP项目的合作效率。王军武等^[6]将风险关联性引入轨道交通PPP项目风险分担模型,考虑风险关联因素后风险分担演化结果随着关联强度变化而变化。Xing等^[7]通过采用演化博弈模型分析政府与企业的稳定策略后发现,回购成本和补贴成本与项目未来预期社会效益的差额是影响政府策略选择的2个重要因素,而投资者的策略主要由投机性净收益和财务状况决定。Lü等^[8]研究了交通流量发生变化时企业再谈判的选择。当交通流量变化小于企业部门不重新谈判的阈值时,不重新谈判是演化博弈的结果;当交通流量变化超过企业部门的重新谈判阈值时,重新协商是演化博弈的结果;当交通流量变化介于不重新谈判和重新谈判阈值之间时,演化博弈的结果取决于政府部门的策略。

企业机会主义行为对PPP项目风险分担再谈判产生至关重要的影响。PPP项目再谈判中政府与企业可能有不同的目标,并且存在着明显的信息不对称,一旦企业采取机会主义行为,必然引起公私双方相互猜忌,影响项目的可持续发展^[9]。因此,有必要采取措施使企业机会主义行为降到最低。在PPP项目再谈判中,社会公众虽然不是公私合作契约的直接参与者,但是作为交通基础设施直接消费者,一方面通过政府部门表达自己对交通基础设施改善的诉求,另一方面接受私人部门提供的交通基础设施服务^[10]。在交通基础设施PPP项目中,公众既是交通基础设施PPP项目的伙伴主体,与政府和社会资本方是伙伴关系,又是PPP项目服务对象。公众具有对交通基础设施PPP项目的知情权、监督权和参与

权^[11]。交通基础设施PPP项目好坏直接关系到公众的切身利益,公众也有必要参与到交通基础设施PPP项目的决策与管理过程中,监督政府与社会资本方的行为,实现公共利益最大化^[12]。

以往对于PPP项目风险分担再谈判研究主要考察企业与政府部门2个行为主体,没有考虑公众参与监督的情况,而公众参与对于PPP项目再谈判中企业机会主义行为具有重要影响。通过构建公众参与下交通基础设施PPP项目再谈判演化博弈模型,试图从政府与公众协同监管的视角回答如何规避再谈判过程中企业的机会主义行为。

1 研究假设

假设1 PPP项目再谈判涉及到3个博弈群体,即政府部门、企业部门和社会公众,三者均是有限理性的。上述3个群体根据自己的价值感知,独立选择自己的行为策略。在博弈过程中,3个群体可以对自己的行为策略进行动态调整。

假设2 交通基础设施PPP项目再谈判中,政府部门、企业部门和社会公众均有2种行为策略。企业部门的2种行为策略分别为非机会主义行为和机会主义行为,政府部门的2种行为策略分别为严格监管和非严格监管,社会公众的2种行为策略分别为参与监督和不参与监督。

假设3 企业部门采取非机会主义行为策略的概率为 x ,采取机会主义行为策略的概率为 $(1-x)$ 。当交通基础设施PPP项目外部条件发生变化,企业部门采取非机会主义行为策略时额外增加的建设运营成本为 C_1 (如:由建设阶段原材料价格上涨、运营阶段政策变化而给企业带来的成本增加),同时获得的收益为 R_1 ($R_1 > C_1$)。企业部门采取机会主义行为获得的收益为 R_2 ,政府部门严格监管或者社会公众参与监督时,企业部门的投机行为一定会被发现。如果企业部门的机会主义行为被政府部门监管到或者被社会公众投诉,就会受到处罚,处罚金为 H 。

假设4 政府部门采取严格监管策略的概率为 y ,采取非严格监管策略的概率为 $(1-y)$ 。社会公众参与监督的概率为 p ,不参与监督的概率为 $(1-p)$ 。PPP项目一般具有公共性或者准公共性,政府部门作为公共管理者,对PPP项目进行监管本身就是其职责范围内的事情,因此采取严格监管策略的收益可以忽略不计。政府部门采取严格监管策略的成本为 C_2 ,如果社会公众参与交通基础设施PPP项

目的监督,进行举报就能获得政府部门给予的奖励 M 。

2 社会公众参与下PPP项目风险分担再谈判博弈模型及模型求解

企业部门采取非机会主义行为策略的期望收益为 U_{11} ,采取机会主义行为策略的期望收益为 U_{12} ;政府部门选择严格监管策略的期望收益为 U_{21} ,选择非严格监管策略的期望收益为 U_{22} 。企业部门、政府部门的平均期望收益分别为 \bar{U}_1 和 \bar{U}_2 。社会公众监督情况下企业部门的收益矩阵如表1所示。

表1 社会公众监督下企业部门的收益矩阵

Tab. 1 Gain matrix of enterprises under public supervision

企业部门行为	政府部门严格监管(y)		政府部门非严格监管($1-y$)	
	社会公众参与(p)	社会公众不参与($1-p$)	社会公众参与(p)	社会公众不参与($1-p$)
机会主义行为($1-x$)	$R_2 - M - C_2$	$R_2 - C_2$	$R_2 - M$	R_2
非机会主义行为(x)	$R_1 - C_1 - C_2$	$R_1 - C_1 - C_2$	$R_1 - C_1$	$R_1 - C_1$

依据微分方程稳定性条件,企业部门采取非机会主义行为策略并处于稳定状态时必须满足以下条件: $F(x)=0$,并且 $\frac{dF(x)}{dx}<0$ 。

令 $G(y)=R_1-R_2-C_1+pH+y(1-p)H$, $\frac{\partial G(y)}{\partial y}>0$, 因此 $G(y)$ 是 y 的增函数。令 $y_0=(R_2-R_1+C_1-pH)/(1-p)H$, 当 $y=y_0$ 时, $G(y)=0$, 且有 $F(x)\equiv 0$, $\frac{dF(x)}{dx}\equiv 0$, 此时对任意 x 方程均是稳定的,即在此状态下,企业部门采取非机会主义行为策略的概率不会随着时间而发生变化。当 $y\neq y_0$ 时,分为以下2种情况:

(1) 当 $0<y<y_0$ 时, $G(y)<0$, $F'(x)|_{x=0}<0$, $F'(x)|_{x=1}>0$, 此时 $x=0$ 是稳定策略。也就是说,当政府部门严格监管策略概率小于 y_0 时,演化博弈过程中企业部门会选择机会主义行为策略。

(2) 当 $y_0<y<1$ 时, $G(y)>0$, $F'(x)|_{x=0}>0$, $F'(x)|_{x=1}<0$, 此时 $x=1$ 是稳定策略。也就是说,当政府部门严格监管概率超过某一固定值时,企业部门会选择非机会主义行为策略。

2.2 政府部门策略稳定性分析

政府部门的期望收益计算式如下所示:

$$U_{21}=H-C_2-pM+x(pM-H)$$

2.1 企业部门策略稳定性分析

企业部门的期望收益计算式如下所示:

$$U_{11}=R_1-C_1$$

$$U_{12}=R_2-(y+p-y)pH$$

$$\bar{U}_1=xU_{11}+(1-x)U_{12}$$

企业部门的复制动态方程为

$$F(x)=\frac{dx}{dt}=x(U_{11}-\bar{U}_1)=$$

$$x(1-x)(U_{11}-U_{12})=$$

$$x(1-x)(R_1-R_2-C_1+H(y+p-y)p)$$

对 x 求导, 有 $\frac{dF(x)}{dx}=(1-2x)(R_1-R_2-C_1+pH+y(1-p)H)$ 。

$$U_{22}=p(H-M)-xp(H-M)$$

$$\bar{U}_2=yU_{21}+(1-y)U_{22}$$

政府部门的复制动态方程为

$$F(y)=\frac{dy}{dt}=y(U_{21}-\bar{U}_2)=$$

$$y(1-y)(U_{21}-U_{22})=$$

$$y(1-y)(H-C_2-pH-x(1-p)H)$$

对 y 求导, 有 $\frac{dF(y)}{dy}=(1-2y)(H-C_2-pH-x(1-p)H)$ 。

依据微分方程稳定性条件,政府部门采取严格监管策略并处于稳定状态时必须满足以下条件:

$F(y)=0$, 并且 $\frac{dF(y)}{dy}<0$ 。

令 $G_1(x)=H-C_2-pH-x(1-p)H$, $\frac{\partial G_1(x)}{\partial x}<0$, 因此 $G_1(x)$ 是 x 的减函数。令 $x_0=\frac{H-C_2-pH}{(1-p)H}$,

当 $x=x_0$ 时, $G_1(x)=0$, 且有 $F(y)\equiv 0$, $\frac{dF(y)}{dy}\equiv 0$,

此时对任意 y 方程均是稳定的,即在此状态下,政府部门采取严格监管策略的概率不会随着时间而发生变化。

当 $x\neq x_0$ 时,分为以下2种情况:

(1) 当 $0<x<x_0$ 时, $G_1(x)>0$, $F'(y)|_{y=0}>0$,

$F'(y)|_{y=1}<0$, 此时 $y=1$ 是稳定策略。也就是说,

当企业部门采取非机会主义行为策略的概率小于 x_0 时,政府部门倾向于采取严格监管策略。

(2)当 $x_0 < x < 1$ 时, $G_1(x) < 0, F'(y)|_{y=0} < 0, F'(y)|_{y=1} > 0$,此时 $y=0$ 是稳定策略。也就是说当企业部门采取非机会主义行为策略的概率超过某一固定

值 x_0 时,政府部门倾向于采取非严格监管策略。

2.3 均衡点及稳定性分析

由 $F(x)=0, F(y)=0$ 可得到系统的均衡点: $E_1(0,0), E_2(0,1), E_3(1,0), E_4(1,1), E_5(x_0, y_0)$ 。根据Guo^[13]的判定方式,求解系统的雅可比矩阵,如下所示:

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2x)(R_1-R_2-C_1+pH+y(1-p)H) & x(1-x)(1-p)H \\ -y(1-y)(1-p)H & (1-2y)(H-C_2-pH-x(1-p)H) \end{bmatrix}$$

$$\det(J) = (1-2x)(R_1-R_2-C_1+pH+y(1-p)H)(1-2y)(H-C_2-pH-x(1-p)H) + x(1-x)H(1-p)y(1-y)(1-p)H$$

$$\text{tr}(J) = (1-2x)(R_1-R_2-C_1+pH+y(1-p)H) + (1-2y)(H-C_2-pH-x(1-p)H)$$

若同时满足 $\det(J) > 0, \text{tr}(J) < 0$,则对应的局部均衡点为演化稳定策略(ESS);若同时满足 $\det(J) > 0, \text{tr}(J) > 0$,则对应的局部均衡点为不稳定点;若同时满足 $\det(J) > 0, \text{tr}(J) = 0$,则对应的局部均衡点为中心点;若同时满足 $\det(J) < 0, \text{tr}(J)$ 为任意值,则对应的局部均衡点为鞍点^[14-15]。

对于均衡点 $E_1(0,0)$,有

$$\det(J)|_{x=0,y=0} =$$

$$(R_1-R_2-C_1+pH)(H-C_2-pH)$$

$$\text{tr}(J)|_{x=0,y=0} = R_1-C_1-(R_2-H)-C_2$$

对于均衡点 $E_2(0,1)$,有

$$\det(J)|_{x_0,y_0} = \frac{(H-C_2-pH)(R_2-R_1+C_1-pH)(H-R_2+R_1-C_2)}{(1-p)^2 H^2 C_2}$$

$$\text{tr}(J)|_{x_0,y_0} = 0$$

令 $p_1 = \frac{(R_2+C_1-R_1)}{H}, p_2 = \frac{H-C_2}{H}$,当 $R_1-C_1-(R_2-H) \leq 0$ 时, $p_2 \leq p_1$;当 $R_1-C_1-(R_2-H) > 0$ 时, $p_1 < p_2$ 。

当 $R_1-C_1-(R_2-H) \leq 0$ 时,如果 $p \geq p_2$,动态系统就存在一个演化均衡点 $E_1(0,0), E_2(0,1)$ 和 $E_3(1,0)$ 是动态系统鞍点, $E_4(1,1)$ 是动态系统不稳定点, $E_5(x_0, y_0)$ 是动态系统中心点。当企业部门采取非机会主义行为策略所获得的收益小于或者等于采取机会主义行为策略所获得的收益时,即使社会公众参与监督的概率足够大,企业部门的稳定策略也是机会主义行为策略,而政府部门的稳定策略是非严格监管。动态系统稳定均衡策略为{机会主义行为,非严格监管}。

$$\det(J)|_{x=0,y=1} =$$

$$-(R_1-C_1-(R_2-H))(H-C_2-pH)$$

$$\text{tr}(J)|_{x=0,y=1} = R_1-C_1-(R_2-pH)+C_2$$

对于均衡点 $E_3(1,0)$,有

$$\det(J)|_{x=1,y=0} = (R_1-R_2-C_1+pH)C_2$$

$$\text{tr}(J)|_{x=1,y=0} = -(R_1-C_1-(R_2-pH))-C_2$$

对于均衡点 $E_4(1,1)$,有

$$\det(J)|_{x=1,y=1} = (R_1-R_2-C_1+H)C_2$$

$$\text{tr}(J)|_{x=1,y=1} = -(R_1-C_1-(R_2-H))+C_2$$

对于均衡点 $E_5(x_0, y_0)$,有

当 $R_1-C_1-(R_2-H) \leq 0$ 时,如果 $p < p_2$,动态系统就存在一个演化均衡点 $E_2(0,1), E_1(0,0), E_3(1,0)$ 和 $E_4(1,1)$ 是动态系统不稳定点, $E_5(x_0, y_0)$ 是动态系统鞍点。当企业部门采取非机会主义行为策略所获得的收益小于或者等于采取机会主义行为策略所获得的收益,并且社会公众监督不足时,机会主义行为策略是企业部门的稳定策略,由于社会公众参与监督的概率偏低,政府部门的稳定策略为严格监管。动态系统稳定均衡策略为{机会主义行为,严格监管}。

当 $R_1-C_1-(R_2-H) > 0$ 时,如果 $p_1 < p < p_2$,动态系统就存在一个演化均衡点 $E_3(1,0), E_1(0,0)$ 是动态系统不稳定点, $E_2(0,1), E_4(1,1), E_5(x_0, y_0)$ 是动态系统鞍点。当企业部门采取非机会主义行为策略所获得的收益大于采取机会主义行

为策略所获得的收益时,并且社会公众参与监督的概率保持在某一范围内,则非机会主义行为策略是企业部门的稳定策略,而政府部门倾向于选择非严格监管的稳定策略。动态系统稳定均衡策略为{非机会主义行为,非严格监管}。

当 $R_1 - C_1 - (R_2 - H) > 0$ 时,如果 $p \leq p_1$ 或 $p \geq p_2$,动态系统不存在着演化均衡点, $E_1(0,0)$ 、 $E_3(1,0)$ 、 $E_4(1,1)$ 是动态系统鞍点, $E_5(x_0, y_0)$ 是动态系统中心点, $E_2(0,1)$ 是动态系统不稳定点。

3 社会公众参与交通基础设施PPP项目再谈判仿真分析

依据稳定性分析结果,将企业部门采取机会主义策略所能获得的收益与采取非机会主义行为策略所能获得的收益的差额作为主要的情景进行仿真分析。

情景1 $R_1 - C_1 - (R_2 - H) \leq 0, p \geq p_2$

令 $R_1 = 25, R_2 = 30, H = 10, C_1 = 5, C_2 = 5, p = 0.6$, 仿真结果如图1所示。可以发现,在该情景下, {机会主义行为,非严格监管} 是动态系统稳定均衡策略。

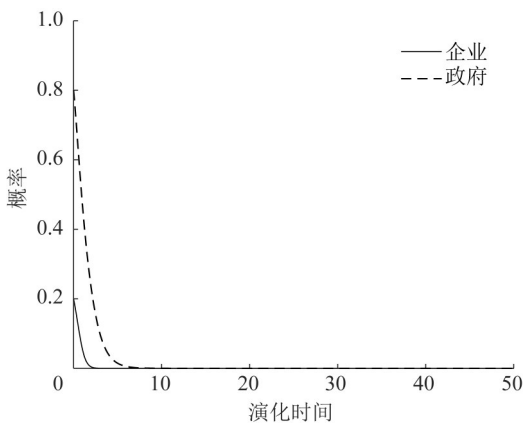


图1 情景1仿真结果

Fig. 1 Simulation results under scenario 1

情景2 $R_1 - C_1 - (R_2 - H) \leq 0, p < p_2$

令 $R_1 = 25, R_2 = 30, H = 10, C_1 = 5, C_2 = 5, p = 0.3$, 仿真结果如图2所示。可以发现,在该情景下, {机会主义行为,严格监管} 是动态系统稳定均衡策略。

情景1与情景2的仿真结果表明,只要企业部门采取非机会主义行为策略所获得的收益小于或者等于采取机会主义行为策略所获得的收益,企业部门

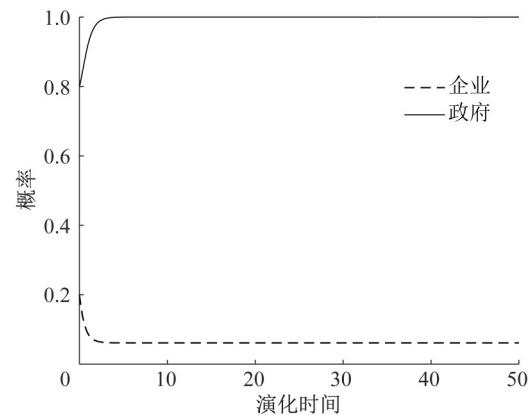


图2 情景2仿真结果

Fig. 2 Simulation results under scenario 2

的稳定均衡策略即为机会主义行为策略,而政府部门是否采取监管措施取决于社会公众参与监督的概率。

情景3 $R_1 - C_1 - (R_2 - H) > 0, p_1 < p < p_2$

令 $R_1 = 35, R_2 = 30, H = 10, C_1 = 8, C_2 = 2, p = 0.4$, 此时 $p_1 = 0.3, p_2 = 0.8, p_2 > p_1, p_1 < p < p_2$, 仿真结果如图3所示。可以发现,在该情景下,企业部门的稳定均衡策略为非机会主义行为策略,政府部门的稳定均衡策略为非严格监管。

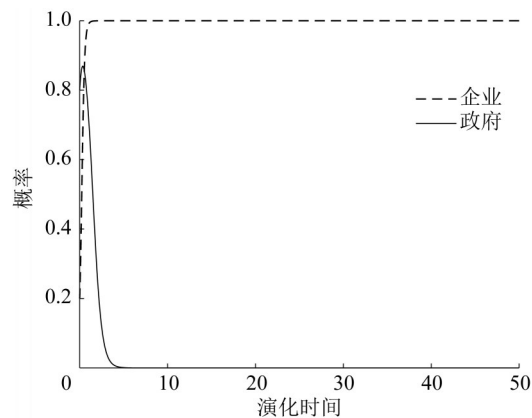


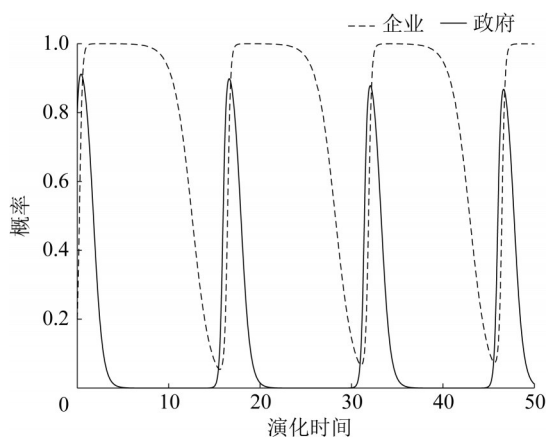
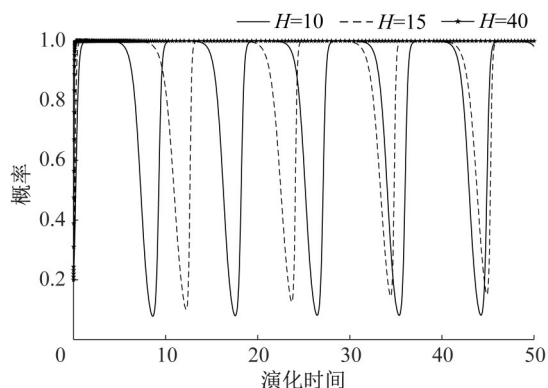
图3 情景3仿真结果

Fig. 3 Simulation results under scenario 3

情景4 $R_1 - C_1 - (R_2 - H) > 0, p \leq p_1$ 或 $p \geq p_2$

令 $R_1 = 35, R_2 = 30, H = 10, C_1 = 8, C_2 = 2, p = 0.2$, 此时 $p_1 = 0.3, p_2 = 0.8, p_2 > p_1, p \leq p_1$, 仿真结果如图4所示。可以发现,该情景下,政府部门和企业部门均无法达到一个稳定的均衡策略。

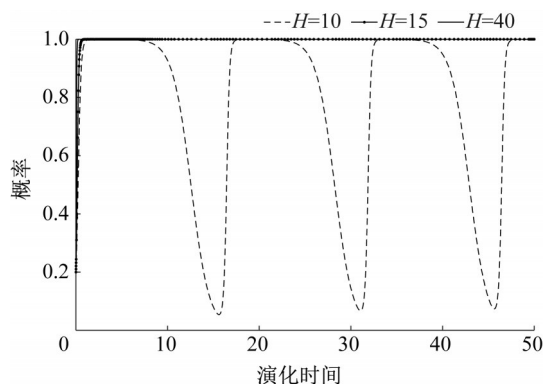
当企业部门采取机会主义行为策略所获得的收益大于非机会主义行为策略所获得的收益时,如何规避企业部门机会主义行为是一个需要进一步解决

图4 情景4仿真结果($p=0.2$)Fig. 4 Simulation results under scenario 4($p=0.2$)图5 $p=0.08$ 时不同 H 值对应的仿真结果Fig. 5 Simulation results corresponding to different H values under $p=0.08$

4 结论

(1)在企业部门采取机会主义行为策略所获得的收益小于非机会主义行为策略所获得的收益,并且社会公众参与监督的概率保持在某一范围内时,非机会主义行为策略是企业部门的稳定均衡策略,而政府部门倾向于选择非严格监管策略,动态系统稳定均衡策略为{非机会主义行为,非严格监管}。在社会公众参与监督的概率较低的情况下,规避企业部门机会主义行为策略的一种重要方式是提高政府部门对企业部门机会主义行为的惩罚力度。仿真结果显示,随着地方政府惩罚力度的增加,企业部门行为最终转向非机会主义行为。然而,不同社会公众监督水平对政府部门处罚力度的要求不一样,社会公众参与监督意愿较低的情况下,需要政府部门对企业部门给予尽可能大的惩罚力度才能迫使企业部门转变机会主义行为。社会公众参与监督意愿较

的问题。实践中,通常的做法是政府部门加大对企业部门机会主义行为的惩罚力度。按照该思路,图5给出了社会公众参与监督概率较低情况下政府部门增加处罚力度后企业部门行为策略变化的仿真结果。可以发现,随着地方政府惩罚力度的增加,企业部门的行为最终转向非机会主义行为。然而,不同社会公众监督水平对政府部门处罚力度的要求不一样,社会公众参与监督意愿较低的情况下,需要政府部门加大对企业部门的惩罚力度才能迫使企业部门转变机会主义行为。社会公众参与监督意愿较高的情况下,政府部门对企业部门机会主义行为较小的处罚力度也能使企业部门转变机会主义行为(见图6)。

图6 $p=0.2$ 时不同 H 值对应的仿真结果Fig. 6 Simulation results corresponding to different H values under $p=0.2$

高的情况下,政府部门对企业部门机会主义行为较小的处罚力度也能迫使企业部门转变机会主义行为。

(2)只要企业部门采取非机会主义行为策略所获得的收益小于采取机会主义行为策略所获得的收益,企业部门的稳定均衡策略即为机会主义行为策略,而政府部门是否采取监管措施取决于社会公众参与监督的概率。该情况下,要转变企业部门的机会主义行为,就要提高政府部门对企业部门机会主义行为策略的惩罚力度,降低企业部门采取机会主义行为策略的收益。

作者贡献声明:

沈 炜:论文撰写。

周林意:模型推导与仿真分析。

参考文献:

- [1] GUASCH J L, BENITEZ D, PORTABLES I, et al. The

- renegotiation of PPP contracts: an overview of its recent evolution in Latin America [C]//International Transport Forum Discussion Papers. [S.l.]: OECD, 2014: 1-27.
- [2] SARMENTO J M, RENNEBOOG L. Renegotiating public-private partnerships [J]. Journal of Multinational Financial Management, 2021, 59: 100661.
- [3] 邓斌超,赵博宇,彭鸣,等.WSR理论视角下PPP项目再谈判风险分担研究[J].建筑经济,2020,41(4):34.
- DENG Binchao, ZHAO Boyu, PENG Ming, *et al.* Research on risk allocation of renegotiation of PPP project from the perspective of WSR theory [J]. Construction Economy, 2020, 41(4):34.
- [4] LIANG Q, HU H, WANG Z, *et al.* A game theory approach for the renegotiation of public-private partnership projects in Chinese environmental and urban governance industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 238: 117952.
- [5] 何涛,赵国杰.基于随机合作博弈模型的PPP项目风险分担[J].系统工程,2011,29(4):88.
- HE Tao, ZHAO Guojie. Risk allocation in public private partnerships based on stochastic cooperative game model [J]. Systems Engineering, 2011, 29(4):88.
- [6] 王军武,余旭鹏.考虑风险关联的轨道交通PPP项目风险分担演化博弈模型[J].系统工程理论与实践,2020,40(9):2391.
- WANG Junwu, YU Xupeng. Evolutionary game model of risk-sharing of rail transit PPP projects considering risk correlation [J]. System Engineering Theory and Practice, 2020, 40(9): 2391.
- [7] XING H, LI Y, LI H. Renegotiation strategy of public-private partnership projects with asymmetric information: an evolutionary game approach [J]. Sustainability, 2020, 12(7): 2646.
- [8] LÜ J, LIN M, ZHOU W, *et al.* How PPP renegotiation behaviors evolve with traffic changes: evolutionary game approach [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2021, 147(5): 04021032.
- [9] WUYTS S, GEYSKENS I. The formation of buyer-supplier relationships: detailed contract drafting and close partner selection [J]. Journal of Marketing, 2005, 69(4): 103.
- [10] 段绪柱.公私合作制中的政府角色冲突及其消解[J].行政论坛,2012,19(4):42.
- DUAN Xuzhu. Conflict and resolution of government role in public-private cooperation system [J]. Administrative Forum, 2012, 19(4):42.
- [11] 叶晓甦,覃丹丹,石世英. PPP项目公众参与机制研究[J].建筑经济,2016,37(3):32.
- YE Xiaosu, QIN Dandan, SHI Shiyong. Research on mechanism of public participation in PPP projects [J]. Construction Economy, 2016, 37(3):32.
- [12] 夏高锋,冯珂,王盈盈,等. PPP项目公众参与机制的国外经验和政策建议[J].建筑经济,2018,39(1):25.
- XIA Gaofeng, FENG Ke, WANG Yingying, *et al.* Overseas experience and policy suggestions of public participation mechanism in PPP projects [J]. Construction Economy, 2018, 39(1):25.
- [13] GUO S. Environmental options of local governments for regional air pollution joint control: application of evolutionary game theory [J]. Economic and Political Studies, 2016, 4(3): 238.
- [14] FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics [J]. Econometrica; Journal of the Econometric Society, 1991, 59(3): 637.
- [15] 潘峰,王琳.演化博弈视角下地方环境规制部门执法策略研究[J].管理工程学报,2020,34(3):65.
- PAN Feng, WANG Lin. Research on implementation strategy of the local environmental regulation department under the perspective of evolutionary game [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2020, 34(3):65.