

基于双层委托代理视角的非公共海绵设施运维激励机制

丁雷杰^{1,2}, 丁继勇^{1,2}, 翟武娟^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学工程管理研究所, 江苏 南京 211100)

摘要:在总结海绵城市非公共基础设施运维模式的基础上,分析了海绵设施运维阶段主要利益相关方之间形成的链式双层委托代理关系。引入公平偏好理论和周边绩效理论,对传统 H-M 模型进行改进,构建了非公共海绵设施运维激励模型并进行求解。结果表明:激励合同的激励水平与业主的周边行为对各利益相关方的效用是动态影响因素;在公平视角下,最佳激励系数的大小取决于政府和业主的博弈结果。从政府方角度设计了一套包括激励方式和激励水平的激励机制,并进行算例仿真。

关键词:海绵城市;运维管理;激励机制;非公共设施;双层委托代理

中图分类号:F407.9

文献标志码:A

文章编号:1003-9511(2021)04-0046-08

海绵城市是新一代城市雨洪管理模式,在城市防洪排涝、防污治污、净化节流等方面发挥着重要作用。自 2015 年第一批试点城市公布后,我国大力推进海绵城市建设,期望通过相关项目建设充分发挥海绵城市基础设施(下称海绵设施)在蓄水节流等方面的作用。目前,试点城市在宏观总体上已取得了一定的成绩,初步达到建设目标^[1]。

海绵设施是海绵城市建设的重要组成部分,直接影响海绵城市整体效益的发挥。按照所在地块的属性和投资主体的不同,可将海绵设施分为两类:一类是公共地块上的海绵设施,一般由政府投资建设或引入社会资本方通过 PPP 模式融资建设^[2];另一类是非公共地块上的海绵设施,由拥有相应地块使用权的开发商按照政府的要求开发,例如小区内绿地的整改、绿色屋顶的开发等,该类设施在运维和付费上较前者较为复杂^[3]。就项目全生命期而言,海绵设施的运维期可能长达数十年,因此不论在公共地块上还是在非公共地块上,既要重视海绵设施的建设,更要重视海绵设施的运营维护。目前,试点地区海绵设施大部分刚进入运维阶段,而国外也没有可以完全照搬借鉴的经验,在运维过程中不可避免地会存在由委托代理关系导致运维代理方隐藏行动的道德风险问题。尤其对非公共地块上的海绵设

施,各相关利益主体不仅仅是单个委托代理关系,而是由政府、业主、物业公司之间形成的一条链式双层委托代理关系,既要考虑单个委托代理关系中主体之间的两两关系,又要考虑某个主体对整个关系链的影响。因此,如何针对非公共海绵设施运维阶段委托代理关系的特殊性,构建有效的道德风险治理机制,是当前亟须开展专门深入研究的重要课题。

针对海绵设施运维阶段道德风险问题,目前主要从激励机制和监督机制的构建入手提出解决对策^[4-5],这也是海绵城市综合管理机制中不可缺少的组成部分^[6]。耿潇^[7]在分析城市传统雨水基础设施的基础上,提出了海绵城市 PPP 项目设施管理的难点,为海绵城市基础设施运营维护提出建议;丁继勇等^[8]从海绵城市的社会属性出发,提出了公共设施和公共设施的运维方案,并在运维期和建设期均设计了以绩效考核为基础的“锦标制”考核机制;梁营科等^[9]设计了 PPP 基金平台模式和宏观配套机制,指出海绵城市 PPP 项目应享受财税政策并完善政府监督机制;Ma 等^[10]认为监督成本是政府在海绵城市治理中的重要因素之一,并根据这一因素提出了政府治理的策略;王小丽等^[5]运用传统 H-M 模型设计海绵城市 PPP 运维服务契约,验证了固定报酬和政府监督在道德风险中的作用,并量化分

基金项目:国家自然科学基金(41877526);中央高校基本科研业务费专项(2019B23314)

作者简介:丁雷杰(1996—),男,硕士研究生,主要从事海绵城市运维管理研究。E-mail: dingleijie@hhu.edu.cn

通信作者:丁继勇(1985—),男,副教授,博士,主要从事建设工程管理、海绵城市建设与运维管理研究。E-mail: jyding@hhu.edu.cn

析政府的最优监督集。不难看出,海绵设施运维监督机制的研究已较为深入,包括具体的监督措施及相关量化分析。而在激励机制方面,相关研究仍较为鲜见,针对非公共海绵设施运维特点进行激励机制设计的研究,还未见报道。

鉴于此,笔者拟在非公共地块海绵设施运维特点分析的基础上,借鉴 Holmstrom 等^[11]创立的经典 H-M 模型和其他学者在此基础上构建的多重委托代理模型^[12-13],基于双层委托代理视角研究非公共海绵设施运维中的激励机制,并通过算例进行模拟验证。

1 非公共海绵设施运维模式及双层委托代理问题

海绵设施权属及运维过程涉及多方利益主体,总体可分为 3 类:不同政府部门组成的政府组织、由社会资本方组成的市场组织和社会公众组成的社会组织。其中,直接参与海绵设施运维的为政府组织和市场组织,是主要的利益主体。在《关于推进海绵城市建设的指导意见》的倡导下,公共海绵设施的运维大多数通过 PPP 合同将所有权和经营权区分开来,其中海绵设施的权属归政府所有,运营权在特许期内归项目公司所有,特许期结束后交还政府。而非公共海绵设施项目责任方是相应地块的开发商,政府在签订土地出让合同中规定了相应运维责任^[7]。

1.1 非公共海绵设施运维模式

对于非公共海绵设施,相关利益主体主要包括:政府部门、开发商、业主和物业公司。除开发商外,其他三方都与海绵设施运维有着直接关系。政府部门不直接参与设施运维,在与开发商签订土地出让合同时规定了开发地块上海绵设施及其运维的相应指标,要求开发商按照合同里的规定建设低影响开发系统并具有相应的雨水治理功能。但海绵设施运维的责任主体并非开发商,根据《中华人民共和国民法典》,业主理应负责运维工作。但《中华人民共和国民法典》中也提到业主既可自行管理也可委托物业服务企业进行管,即物业公司代替业主运营维护海绵城市非公共设施,这可能将是实践中的常见做法。

在非公共海绵设施的实际运维中,由业主委员会委托物业公司对配套设施进行运营与养护,政府联合业主并委托专业海绵设施养护公司监督其运维工作,相关利益主体关系如图 1 所示。

1.2 非公共海绵设施运维中的双层委托代理关系

基于委托代理理论并结合非公共海绵设施的运

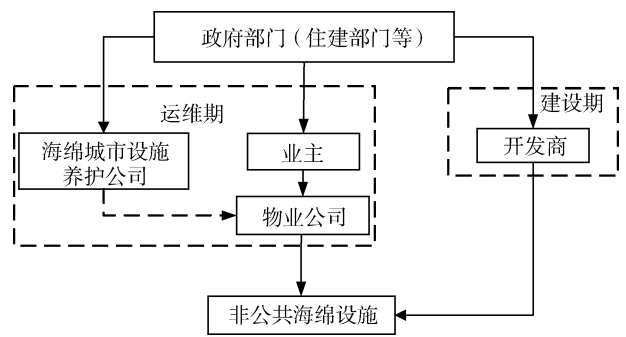


图 1 海绵城市非公共设施利益主体关系

维模式,可以看出,在运维期间政府、业主和物业公司三者形成双层委托代理关系,这种链式关系可清晰展示为图 2 所示。其中政府为纯委托人,业主为中间委托代理人(下称中间人),物业公司为纯代理人。

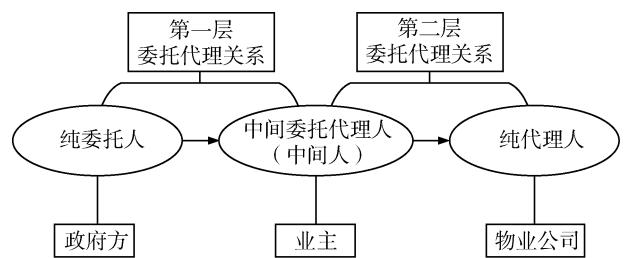


图 2 非公共海绵设施运维的委托代理关系链

a. 第一层委托代理关系。政府方(如住建部门)与业主形成第一层委托代理关系,政府方为纯委托人,业主为中间人。《中华人民共和国民法典》规定,业主对小区的建筑物享有所有权,对建筑物的专有部分和共有部分有管理的义务。非公共地块上非公共设施主要有小区公共绿地和小区改建中的低影响开发系统等,按照所有权可划分为专有部分和公共部分,所以业主理应负责运维工作。政府在土地出让合同中就规定业主方为运维的责任主体,业主理应负责该海绵设施的运行与维护工作。与公共地块上社会资本方的运维不同,政府部门和业主的目标更相近:业主并不希望通过项目带给他收益,更多的是购买住房并获得等值的服务,即业主是小区内海绵基础设施的服务对象。但两者的目标也不是完全一致,政府更多是从社会效益角度出发而业主多从个人效益角度出发,这就会导致一定程度上的信息不对称。

b. 第二层委托代理关系。业主与物业公司之间形成第二层委托代理关系,业主为中间人,物业公司为纯代理人。在实际中,因技术等原因由地产开发商选定或者由业主委员会委托的物业公司对配套设施进行运营与养护,政府和其委托的海绵城市养护公司对其协助维护并进行监督。物业

公司接受业主委员会的委托,在订立合同后负责各业主配套的低影响开发系统设施养护。但业主和物业的纠葛一直以来是一种普遍现象。因成本等原因业主不可能时时刻刻监督设施运维情况,物业公司机会主义行为就会提升,降低设施的排水性能,例如在小区植被类海绵体容易造成残枝败叶、垃圾、雨水中的细小颗粒堆积,影响海绵体的渗透功能,而物业公司很有可能为了减少费用支出而延长检查间隔期^[14]。

1.3 非公共海绵设施运维激励的理论分析

从运维模式和利益主体间的关系分析可以看出,主要利益主体之间双层委托代理关系是不可忽视的因素。

信息不对称与道德风险在委托代理关系中普遍存在^[15]。图2中的委托代理链显示,非公共海绵设施运维期间不仅在政府方与业主之间存在信息不对称,业主方和物业公司之间也存在着信息不对称,信息了解程度的逐渐削弱加剧了各代理人的机会主义行为,使得项目运维期的道德风险大大增加。而激励设计的目的就是减少代理人的机会主义行为,减少项目的道德风险,使代理人做出符合各方利益的决策,达到一种公平的状态。根据第二类公平偏好理论,收益分配公平对人们的效用有很大的影响^[16]。结合双层委托代理关系的特点,无论是业主还是物业公司,每一方的公平偏好因素都会影响激励的效果,必须在激励中考虑到该因素。此外,海绵设施的运维激励一般根据成果(即运维绩效)进行激励,在链式的双层委托代理关系中,除了传统的任务绩效外,还得考虑代理人的绩效对中间人绩效的影响。根据周边绩效理论,周边绩效独立于任务绩效,体现在组织的周边行为之中,主要指那些自发的支持组织行为,包括人际促进和工作奉献等^[12]。作为中间人身份的业主除了与政府一同监督物业公司的运维之外,在自身成本增加小于效用提升的前提下,会自发在设施维护、监督运营等方面投入精力以提高海绵设施给自己带来的效用,这种行为对政府、物业公司以及业主本身的效用均会产生不同程度的影响。以中间人身份参与的业主会对整个关系链产生重要影响。

综合上述分析,有必要从链式双层委托代理视角对传统的激励机制模型进行改进。鉴于此,笔者拟通过引入周边绩效理论和公平偏好理论,并结合海绵设施运维特点,在对传统激励模型进行改进的基础上,探索非公共海绵设施运维激励机制设计。

2 非公共海绵设施运维激励模型

2.1 模型假设与参数基本设定

Holmstrom等^[11]建立的H-M模型是委托代理关系中经典的模型之一,被广泛应用于解决各种由于委托代理关系产生的契约问题中。传统的H-M模型中有许多限制条件:单一的委托代理关系、经济人(完全理性)假设等^[4]。这些限制条件使其并不完全适用于双层委托代理关系下激励问题的研究。考虑到非公共海绵设施运维项目特征,笔者在参考传统H-M模型及相关文献基础上做出以下假设:

假设1:根据上述分析,主要利益主体间为双层委托代理关系,即3个参与方,包括一个纯委托人(政府方)、一个纯代理人(物业公司)、一个中间人(业主)^[12]。

假设2:非公共海绵设施运维的经营性低,运维方没必要承担过多的风险去获得额外收益。假设政府方是风险中性的;业主和物业公司是风险规避的。

假设3:由于我国不存在雨水排放费制度,假设运维涉及的相关费用均由政府方的专项补助金支付^[17]。而已有研究表明,固定报酬在海绵城市运维服务中有存在的必要性^[5],固定报酬是运维方的保障因素。因此采用“固定付费+产出报酬”的方式对纯代理人进行激励。

假设4:为提高业主监管的积极性,采用与假设3相同的方式对其进行激励,付费资金来自海绵城市专项资金补助。

基于上述假设,相关参数及其关系设定如下:

a. 业主和物业公司的产出 π_1 、 π_2 和海绵设施运维绩效相关,用函数表示为

$$\pi_1 = e_1 + \varepsilon \quad (1)$$

$$\pi_2 = e_2 + \varepsilon \quad (2)$$

式中: e_1 、 e_2 分别为业主和物业公司在运维期的努力程度; ε 为外生的不确定性因素,是服从期望为0、方差为 σ^2 的正态分布随机变量。

b. 根据假设3和4,业主和物业公司的收入效用可以表示为

$$I_1 = \alpha + \beta\pi_1 - \frac{1}{2}be_1^2 \quad (3)$$

$$I_2 = \alpha + \beta\pi_2 - \frac{1}{2}be_2^2 \quad (4)$$

式中: α 为固定报酬; β 为基于绩效产出的激励系数; $\frac{1}{2}be^2$ 为努力成本,由努力系数 b 和努力程度 e 决定。

政府的效用函数根据产出和支付可表示为

$$E_U = \pi_1 + \pi_2 - \left(I_1 + I_2 + \frac{1}{2}be_1^2 + \frac{1}{2}be_2^2 \right) = -2\alpha + (1 - \beta)[e_1 + (1 + \eta)e_2] \quad (5)$$

c. 根据假设 2, $\frac{1}{2}\rho DI_1, \frac{1}{2}\rho DI_2$ 分别表示业主和物业公司的风险成本, 其中:

$$\frac{1}{2}\rho DI_1 = \frac{1}{2}\rho DI_2 = \frac{1}{2}[(3k + 1)\beta - 2k]^2 \rho \sigma^2$$

2.2 基于双层委托代理关系的参数改进思路

2.2.1 引入周边绩效理论

根据 Motowidlo 等提出的二维绩效模型, 周边绩效独立于任务绩效。业主是非公共海绵设施服务对象, 运维质量的好坏会影响业主方的效用。处于中间人这个特殊位置的业主方除了完成作为设施所有权主体的义务外, 受到潜在收益感知的影响^[18] 还会投入额外的时间和精力, 自发监督并配合物业公司的运维工作以提高自身的效用。因此, 业主的最终效用可以表达为

$$\pi_1 = e_1 + \eta e_2 + \varepsilon \quad (6)$$

式中: $\eta(0 \leq \eta \leq 1)$ 为依赖系数, 代表业主的周边行为程度^[12], 具体体现为业主自发对物业公司运维的帮助获得的收益比率。 $\eta = 0$ 时, 表示业主不采取周边行为, 周边行为带来的产出为 0; $\eta = 1$ 时, 表示业主采取最大的周边行为, 物业公司的绩效产出完全转化为业主的产出。

2.2.2 引入公平偏好理论

Fehr 等^[16] 第二类公平偏好理论——F-S 理论, 该理论认为需要考虑社会心理偏好中的自豪、公平、嫉妒、同情等各种心理, 尤其存在两个及两个以上代理人时。该理论还提出, 人们会关心自己与他人的收入差距, 当自身收益大于对方时会产生自豪感, 带来正效用 $\frac{\xi_1}{n-1} \sum_{j \neq i} \max\{\pi_i - \pi_j\}$, 小于对方时则会产生嫉妒心理, 带来负效用 $\frac{\xi_2}{n-1} \sum_{j \neq i} \max\{\pi_j - \pi_i\}$ 。其中 n 为代理人的人数, π_i 为参与人 i 的效用, π_j 为其他任意一名参与者 j 的效用, ξ_1, ξ_2 分别为自豪系数与嫉妒系数。根据现有研究^[19], 用 k 表示自豪系数和嫉妒系数, 简化计算使两者相等。因此, 业主的效用 ω_1 和物业公司的效用 ω_2 可以进一步表示为

$$\begin{aligned} \omega_1 &= I_1 + k\{\max(I_1 - U, 0) + \max(I_1 - I_2, 0)\} - k\max(U - I_1, 0) - k\max(I_2 - I_1, 0) = \alpha + \beta\pi_1 - \frac{1}{2}be_1^2 + k(I_1 - U) + k(I_1 - I_2) \\ \omega_2 &= I_2 + k\{\max(I_2 - U, 0) + \max(I_2 - I_1, 0)\} - k\max(U - I_2, 0) - k\max(I_1 - I_2, 0) = \alpha + \beta\pi_2 - \frac{1}{2}be_2^2 + k(I_2 - U) + k(I_2 - I_1) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\max(I_2 - I_1, 0)\} - k\max(U - I_2, 0) -$$

$$k\max(I_1 - I_2, 0) = \alpha + \beta\pi_2 - \frac{1}{2}be_2^2 + k(I_2 - U) + k(I_2 - I_1) \quad (8)$$

除了关注自身与他人收入的差距外, F-S 理论还认为人们会关注自身的收入^[16], 即与既定条件下理想收入的差距。本文将两个因素同时考虑在内, 用欧式距离 L_p 表示与理想收入的差距:

$$L_p = \min \|F - F_0\| = \min[(E_U - E_{U,0})^2 + (x_1 - x_{1,0})^2 + (x_2 - x_{2,0})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

式中: E_U, x_1, x_2 分别为加入风险成本后的政府方、业主和物业公司的最终效用; $E_{U,0}, x_{1,0}, x_{2,0}$ 分别为政府方、业主和物业公司所能获得的理想效用。当 L_p 取最小值时, 三方与其理想效用差距最小, 达到了收入分配的公平。

2.3 模型构建及求解

基于上述分析, 从政府方视角建立以分配公平为目标的激励模型:

$$L_p = \min \|F - F_0\| = \min[(E_U - E_{U,0})^2 + (x_1 - x_{1,0})^2 + (x_2 - x_{2,0})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (IR) x_1 &= I_1 + k[3\alpha + (2\beta - 1)(e_1 + \eta e_2) - (1 - \beta)e_2] + k\beta(\pi_1 - \pi_2) - \frac{1}{2}[(3k + 1)\beta - 2k]^2 \rho \sigma^2 \geq C_1 \\ x_2 &= I_2 + k[3\alpha + (2\beta - 1)e_2 - (1 - \beta)(e_1 + \eta e_2)] + k\beta(\pi_2 - \pi_1) - \frac{1}{2}[(3k + 1)\beta - 2k]^2 \rho \sigma^2 \geq C_2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} (IC) x_1 &= \max_{e_1, \eta} x_1, x_2 = \max_{e_2} x_2 \end{aligned} \quad (12)$$

式中: 下标 IR 表示合作的条件, 即运维收入大于保留收入 C_1, C_2 时合同才成立; 下标 IC 表示激励相容约束条件, 即信息不对称情况下业主和物业公司为获得效用最大化采取的行为。

根据委托代理理论, 在信息不对称情况下, 各方不能观察到对方的努力水平, 因此解(IC)得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_1}{\partial e_1} &= \frac{\partial x_2}{\partial e_2} = 0 \\ \Rightarrow \begin{cases} e_1 = \frac{(1 + 3k)\beta - k}{b} \\ e_2 = \frac{(1 + 3k)\beta - (1 + \eta)k}{b} \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

代入式(12), 运用保留下界的解法解条件约束 (IR)^[20], 得到固定报酬为

$$\alpha = \frac{1}{2(1 + 3k)} \{ (C_1 + C_2) + \frac{1}{2}b(e_1^2 + e_2^2) - [(\beta - 1)k + \beta]e_1 - [k(\beta - 1)(1 + \eta) +$$

$$\beta(1 + \eta)]e_2 + [(3k + 1)\beta - 2k]^2\rho\sigma^2\} \quad (14)$$

将 α, e_1, e_2 代入 E_U, x_1, x_2 中, 得到三者效用的均衡解:

$$E_U = \frac{-2}{1 + 3k}B + (1 - \beta) \cdot \frac{(\eta + 2)(3k + 1)\beta - (\eta^2 + \eta + 2)k}{b} \quad (15)$$

$$x_1 = B + \beta \frac{(3k + 1)(\eta + 1)\beta - (\eta^2 + \eta + 1)k}{b} - \frac{1}{2}b \left[\frac{(3k + 1)\beta - k}{b} \right]^2 + k \left[(2\beta - 1) \frac{(3k + 1)(\eta + 1)\beta}{b} - \frac{(\eta^2 + \eta + 1)k}{b} - (1 - \beta) \frac{(1 + 3k)\beta - (1 + \eta)k}{b} \right] + k\beta\eta \frac{(3k + 1)\beta - \eta k}{b} - \frac{1}{2}[(3k + 1)\beta - 2k]^2\rho\sigma^2 \quad (16)$$

$$x_2 = B + \beta \frac{(1 + 3k)\beta - (1 + \eta)k}{b} - \frac{1}{2}b \left[\frac{(1 + 3k)\beta - (1 + \eta)k}{b} \right]^2 + k \left[(2\beta - 1) \frac{(1 + 3k)\beta - (1 + \eta)k}{b} - (1 - \beta) \frac{(3k + 1)(\eta + 1)\beta - (\eta^2 + \eta + 1)k}{b} \right] + k\beta \frac{\eta k - (3k + 1)\beta}{b} - \frac{1}{2}[(3k + 1)\beta - 2k]^2\rho\sigma^2 \quad (17)$$

其中 $B = \frac{1}{2} \left\{ (C_1 + C_2) + \frac{1}{2}b(e_1^2 + e_2^2) - [(3\beta - 1)k + \beta]e_1 - [k(3\beta - 1)(1 + \eta) + \beta(1 + \eta)]e_2 + [(3k + 1)\beta - 2k]^2\rho\sigma^2 \right\}$

式(10)的解过于复杂, 需要根据项目具体情况赋值计算。

2.4 主要结论分析

结论 1: 三方的效用均受偏好系数 k 、激励系数 β 、成本系数 b 、依赖系数 η 、风险成本 $\rho\sigma^2$ 影响, 其中激励系数 β 、依赖系数 η 是动态影响因子。

根据式(15)(16)(17), 在双层委托代理关系下, 偏好系数 k 、激励系数 β 、成本系数 b 、依赖系数 η 、风险成本 $\rho\sigma^2$ 均影响三方的效用。在海绵设施运维项目中, 偏好系数 k 、成本系数 b 、风险成本 $\rho\sigma^2$ 是具有项目特征或有限理性人特征的特征参数, 这些影响因子的变化具有长期性, 在运维中可以当作固定值。其中, 成本系数 b 的大小由运维项目的特性决定, 偏好系数 k 、风险成本 $\rho\sigma^2$ 是业主和物业公司的特性,

政府部门可以通过审查其类似项目的相关资料或者委托第三方机构的评估来获取。而依赖系数 η 是由于海绵设施运维中的双层委托代理特殊性产生的, 业主方在运维期内可随时调整周边行为, 例如业主在合同规定的基础上投入额外的精力监督并协助运维等, 属于动态影响因子。激励系数 β 由政府激励契约中设计, 根据现有的运维情况, 合同通常以年为单位订立, 因此政府可以根据运维情况随时调整激励系数 β , 其同属于动态影响因子。

结论 2: 在双层委托代理关系和信息不对称情况下, 依赖系数 η 对中间人效用的影响程度由激励系数 β 决定。

令 x_1 对 η 求导, 可得

$$\frac{\partial x_1}{\partial \eta} = \frac{3k^2 - 2k\beta(3k + 1)}{2b}\eta + \frac{[\beta(3k + 1) + k]^2 + 2k^2}{2b}$$

当 $\beta < \frac{3k}{2(3k + 1)}$ 时, 在 $0 \leq \eta \leq 1$ 范围内业主的

效用与依赖系数 η 呈正相关; 当 $\beta > \frac{3k}{2(3k + 1)}$ 时, 在 $0 \leq \eta \leq 1$ 范围内业主的效用可能存在区间内的最大值, 也可能呈正相关。根据利益最大化的目标, 激励系数 β 会使业主调整周边行为进而影响其效用。同时, 业主周边行为的选择也会影响政府和物业公司的效用。因此激励系数 β 的设计是一个政府与业主动态博弈的过程。

2.5 激励机制设计

正如引言所述, 一个有效的激励机制要解决两个问题: 一是建立激励考核机制, 二是设计激励水平。结合海绵设施运维项目, 这两个问题可转化为如何量化最终产出 π 与如何设计激励系数 β 这两个问题。

2.5.1 最终产出 π 的量化

本模型建立过程中产出用业主和物业公司努力程度来衡量, 然而在实际情况下, 政府不可能通过观测其努力程度来衡量产出, 海绵城市的运营与维护产出大部分通过绩效考核进行, 两者分别属于理论研究与实际操作, 结果并不矛盾。业主和物业公司的努力程度最终体现在运维的绩效上, 而且通过绩效的考核方式衡量产出能减少政府方的成本。

目前全国对海绵城市的建设有考核指标, 但在运维方面并无统一标准, 根据国内学者的研究, 公共地块和非公共地块上均可在合同中确定控制目标进行绩效考核^[3]。例如, 池州市对海绵城市项目绩效考核包括设施维护和指标产出, 各占 50 分; 根据市住建委的绩效考核打分给出相应的考核系数作为产出量化的一部分, 其最终产出量化 = 年度运营维护

成本 × 绩效考核系数。根据假设 3 及已有相关研究^[5], 固定报酬有存在的必要性, 因而最终产出的量化可以包括两部分: ①年度运营维护成本 C , 作为无风险的固定报酬 α 的量化。②年度运营维护成本 C 与绩效考核系数的乘积, 作为绩效产出 π 的量化。这也符合政府风险中性和运维方风险规避的特点。

2.5.2 激励系数 β 的设计

根据结论 1, 带有非公共海绵设施项目特性和业主方特性的参数并非政府方控制, 但政府方可以通过运维阶段所处的政策、环境以及审查类似工程评估给出。根据结论 2, 业主会根据 β 调整 η , 让自己获得最优效用 $x_{1,0}$, 而政府和物业公司也会期望中间人采取特定的周边行为, 以获取自身效用最大化 $E_{U,0}, x_{2,0}$ 。

因此从政府方视角来看, 设计激励系数时应考虑这一动态博弈过程, 具体分为两个阶段: 在确定业主和物业公司以及项目的相关特性后, 第一个阶段根据不同激励系数 β 计算出满足各方最优效用与满足最优效用的期望周边行为, 第二个阶段根据公平原则即与各自的最优效用差值最小的原则确定最终的激励系数 β , 即对式(10)进行具体求解(图 3)。

其中, η 是由业主根据政府方所设计的激励系数 β 实施的周边行为决定的, 而政府和物业公司对周边行为 η 只有相应的预期最优值。记政府方预期业主周边行为选择、业主的周边行为选择和物业公司预期业主周边行为选择分别为 η_0, η_1, η_2 , 若业主的周边行为能同时使各方效用都能达到各自的理想效用, 那么既实现了公平又实现了效用最大化, 但现实中往往无法实现, 政府方可通过设计合理的激励系数 β 使各方的效用与其理想的效用差值最小。

3 算例模拟

在给基本参数 (k, b, ρ, σ^2) 赋值的基础上对激励系数设计进行算例模拟。通过 (β, η) 曲线图, (β, E_U, x_2) 曲线图分析不同激励程度下对周边行为选择的影响和对政府方与物业公司效用的影响; 通过 (β, L_p) 曲线图确定最终激励系数 β 。

我国目前海绵城市的运维起步较晚, 已建成的海绵城市运维管理仍处于初步阶段, 因此准确赋值较为困难。笔者在参考相关研究^[12,21-22] 的基础上, 对参数赋值为 $0 \leq k \leq 1$, 步长为 0.1, $b = 4, \rho = 3, \sigma^2 = 6$ 。

除了该组数据外, 本文还验证了 (k, b, ρ, σ^2) 其他若干组合理的数据, 并且发现 (β, η) 曲线图、 (β, E_U, x_2) 曲线图和 (β, L_p) 曲线图大体的演化趋势不变, 根据算例结果得出的激励设计思路不受参数变化的影响, 这也证明该组参数赋值不失一般性。

算例 1 激励设计第一阶段, 考虑不同激励程度对政府方和物业公司理想效用和实际效用的影响以及激励程度对周边行为选择的影响, 为方便研究取 $k = 0.5$, 即公平偏好程度适中的情况。根据激励系数的现有研究^[12,22], 有激励性质的合同激励系数 β 必须小于 1, 综合考虑海绵城市项目公益性的特点以及参考已有的类似研究的参数赋值, 赋予 $[0, 1]$ 的激励系数参考范围。在 (k, b, ρ, σ^2) 分别取 (0.5, 4, 3, 6) 的基础上, (β, E_U, x_2) 曲线图和 (β, η) 曲线图如图 4 和图 5 所示。

由图 4 可知, 在不同激励程度下, 政府方和物业公司两者各自的理想效用和实际效用并非完全一致, 这是由理想周边行为和实际周边行为的选择差异导致的, 图 5 清晰的证实了这一点, 业主采取的周

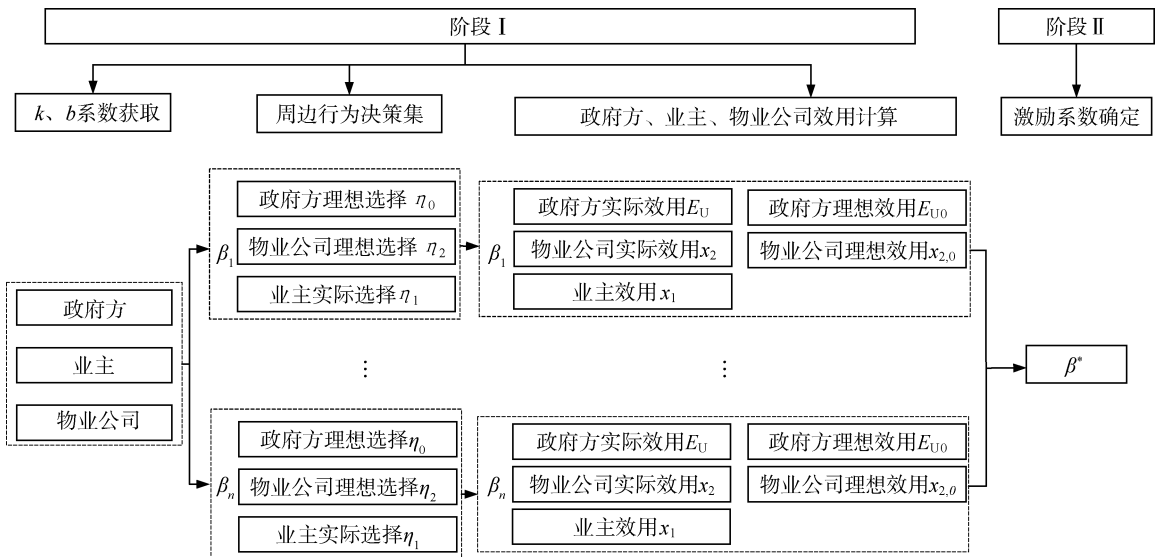
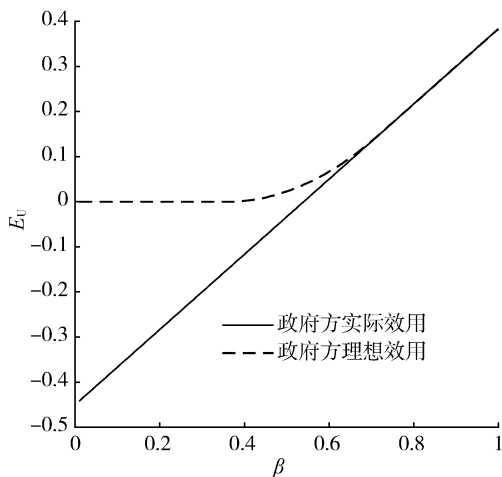
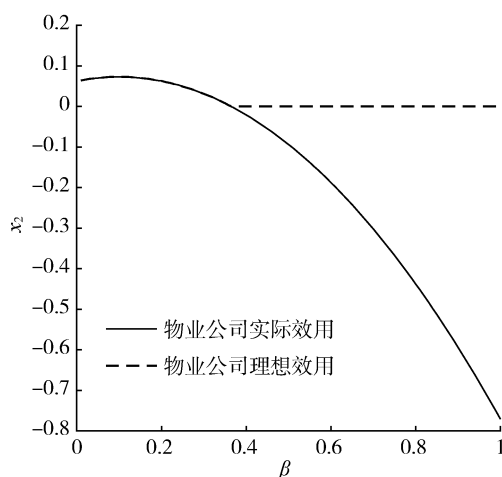


图 3 激励系数设计流程

边行为 η_1 (即实际周边行为) 与政府方和物业公司期望的理想周边行为 η_0, η_2 只有在一定的激励范围内 (即在该激励下双方利益目标一致) 才相同, 在该激励范围内实际效用与理想效用也因此相同。但是不存在 η_0, η_1, η_2 三者同时相等的激励范围, 这也再次证明实际情况中无法达到全局最优。



(a) 政府方



(b) 物业公司

图4 政府方和物业公司激励-效用关系

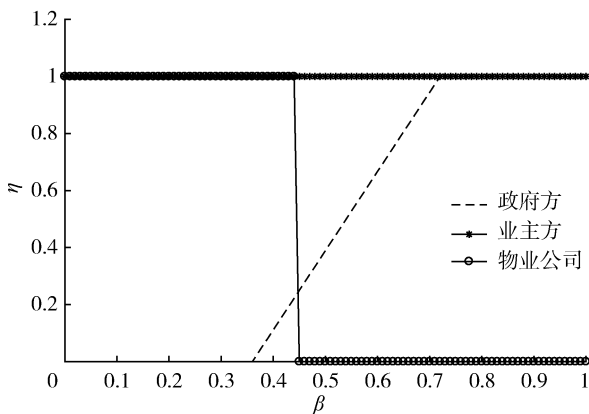
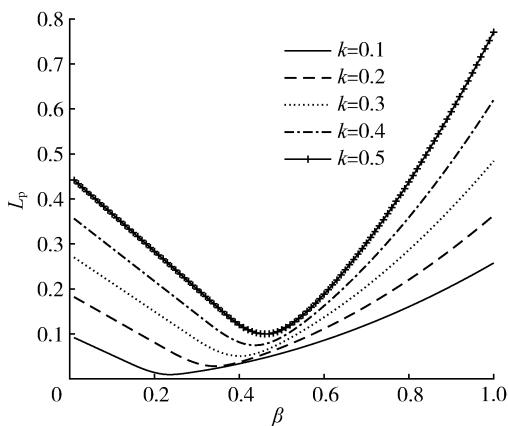


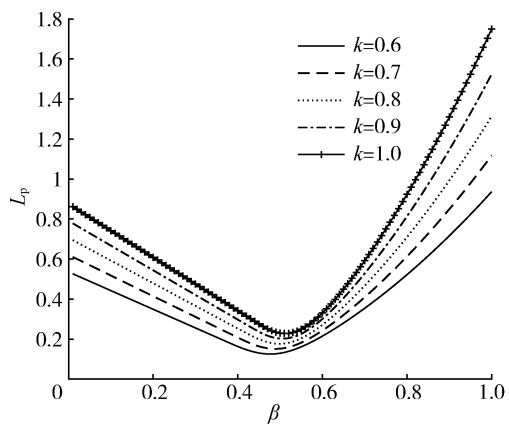
图5 三方激励-周边行为/理想周边行为选择

算例2 在算例1的基础上, 考虑一个合理的

激励系数 β 使得各方的实际效用与理想效用的差值达到最小, 即 L_p 值最小。取 (k, b, ρ, σ^2) 为 $([0, 1], 4, 3, 6)$, 此时, (β, L_p) 曲线图如图6所示。



(a) k 为 0.1 ~ 0.5



(b) k 为 0.6 ~ 1.0

图6 β 值与 L_p 值关系

由图6可知, 在业主和物业公司不同的公平偏好 k 下, 都存在唯一确定的最佳激励系数 β^* (图像最低点) 使得 L_p 值达到最小, 即该激励系数使政府方、业主和物业公司三个参与方实际效用与理想效用相差最小, 有利于减少运维期道德风险的发生。其中, 当公平偏好较小, 即 $k \leq 0.5$ 时, 最佳激励系数的变化幅度较大; 当 $0.5 \leq k \leq 1$ 时, 最佳激励系数的变化幅度小。

根据算例结果, 可对非公共海绵设施项目的运维服务进行最终激励设计。

a. 最终的激励方式可按照运维费用 = 固定报酬 + 固定报酬 \times 绩效考核系数 \times 激励系数的方式进行。第一, 固定报酬首先必须要满足式(10), 否则负责海绵设施运维的合同履行方将会退出运维活动; 其次具体大小政府可根据项目的性质进行最终确定, 对非公共设施项目的运维方应在运维成本的基础上适当提高固定报酬的大小, 而对于其中的经营性项目不宜设置过高的固定报酬。鉴于海绵设施

运维中的子项目绝大多数是偏公益性的,所以总体上来说固定报酬应占总报酬的大部分。第二,考核系数可由政府执行机构在合同中确定运维控制目标,并在年终由住建部门或委托第三方机构考核运维效果后给出。

b. 根据算例 1 与算例 2 图像化后的结果得出,在任意公平偏好 k 下都存在最佳激励系数 β^* 使得三方效用达到理论上的公平,且该激励系数是有效的^[19]。因此,政府部门首先要审查其类似项目的相关资料或者委托第三方机构评估来获取运维方的公平偏好 k ,尤其是公平偏好度较小时,要提高审查的力度与精度;其次,激励范围内最佳激励系数 β^* 可根据算例的思路得出具体结果。政府设计激励程度时,可以以该结果为参考并依据项目性质进行调整,例如对非经营性子项目在原基础之上下降一定的比例,以弥补其运维成本为主;而对少量偏经营性的项目则上调比例,激发其运维积极性。

4 结 语

笔者在分析现有非公共海绵设施运维模式,以及其中主要利益主体链式双层委托代理关系的基础上,对传统的 H-M 模型进行改进,设计了非公共海绵设施运维激励机制,从一定程度上解决了激励方式、激励程度的问题。并通过算例模拟的方式对运维服务进行了激励机制设计,研究成果为政府激励机制设计提供了一种有价值的思路。但本文也存在一些不足之处,即所构建的激励模型简化了部分参数的选取以及实际项目的操作,例如对公平偏好程度 k 等参数的评估,因此最后的激励策略并非完全精确,在之后的研究中应逐步改进。此外,业主对物业公司的激励受到不同方面的影响,而非公共海绵设施的运维激励问题只是其中一个影响方面,在未来应做进一步的深入研究。

参考文献:

[1] 王浩,梅超,刘家宏. 海绵城市系统构建模式[J]. 水利学报,2017,48(9):1009-1014.

[2] 夏柠萍,杨高升,潘丹萍. 基于 FAHP-CIM 的海绵城市建设项目融资风险度量研究[J]. 水利经济,2016,34(6):30-33.

[3] 丁继勇,王卓甫,蔡珏芳,等. 海绵城市设施运维管理模式及机制的分类设计[J]. 管理现代化,2018,38(6):62-65.

[4] HAN H, WANG Z F, LI H M. Incentive mechanism for inhibiting developer's moral hazard behavior in China's Sponge City projects[J]. Advances in Civil Engineering, 2019(1):1-10.

[5] 王小丽,王卓甫,丁继勇. 海绵城市 PPP 项目运营维护服务契约设计[J]. 软科学,2019,33(3):127-132.

[6] 丁继勇,蔡珏芳,李娜,等. 全生命周期视角下海绵城市建设的管理机制探析[J]. 水利经济,2019,37(6):53-59.

[7] 耿潇. 城市雨水基础设施维护运营管理研究[D]. 北京:北京建筑大学,2017.

[8] 丁继勇,冷向南,陈军飞,等. 海绵城市建设“碎片化”问题及其治理[J]. 水利经济,2020,38(4):33-40.

[9] 梁营科,陈家红,周志广,等. PPP 海绵城市建设中社会资本激励研究[J]. 时代经贸,2017(12):43-45.

[10] MA T Y, WANG Z F, DING J Y. Governing the moral hazard in China's Sponge City projects: a managerial analysis of the construction in the non-public land[J]. Sustainability, 2018,10(9):1-15.

[11] HOLMSTROM B, MILGROM P. Aggregation and linearity in the provision of intertemporal incentive[J]. Econometrica, 1987,55(2):303-328.

[12] 赵宸元,蒲勇健,潘林伟. 考虑公平偏好的链式多重委托-代理激励机制[J]. 系统管理学报,2018,27(4):618-627.

[13] YING Z, ZHI W. The economical analysis of the relationship between doctors and patients based on Double-Principal-Agent Model [C]//Advances in Engineering Research. Paris: Atlantis Press, 2017:472-476.

[14] 杨高升,董洪麟. 海绵城市战略下城市雨洪管理探析[J]. 科技管理研究,2019,39(7):215-220.

[15] DAI S, NIE G, XIAO N. The study of the Two-Way Principal-Agent Model based on a symmetric information[J]. Wireless Personal Communications, 2018, 102 (2): 629-639.

[16] FEHR E, SCHMIDT K M, A theory of fairness, competition and cooperation[J]. Quarterly Journal of Economics, 1999, 114(3):817-868.

[17] 马海良,姜明栋,侯雅如. 江苏省海绵城市建设的战略分析和路径规划[J]. 水利经济,2017,35(6):6-11.

[18] 汪洋,蔡剑洪,黄绵松. 固原海绵城市建设工程公众参与意愿影响因素调查[J]. 水利经济,2020,38(2):12-16.

[19] 赵宸元. 基于公平偏好的多重委托:代理激励机制研究[M]. 北京:经济管理出版社,2019.

[20] DAI S G, NIE G H, LIU P F. Research on the Two-player Two-way Principal-agent Model and Optimization Algorithm with lower and upper bounds[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2020,38(2):1499-1508.

[21] 丁川,陈璐. 考虑风险企业家有公平偏好的风险投资激励机制:基于显性努力和隐性努力的视角[J]. 管理科学学报,2016,19(4):104-117.

[22] 廖建桥,蔡婷,文鹏. 激励系数:一个衡量薪酬激励性的新概念[J]. 华中科技大学学报(社会科学版),2009,23(5):66-70.

(收稿日期:2020-11-23 编辑:陈玉国)