

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202004035



PPP 项目物有所值评价 系统动力学模型应用

赵振宇¹, 苑曙光¹, 戴同¹, 包格日乐图²

(1. 华北电力大学 经济与管理学院, 北京 102206;
2. 内蒙古建筑职业技术学院 工程管理学院, 内蒙古 呼和浩特 010070)

摘要: 为了能动态分析项目全寿命周期内物有所值(VFM)量值及相关变量的变化趋势,根据社会资本和政府合作(PPP)项目全寿命周期成本-收益构成要素间的因果关系,构建 PPP 项目物有所值评价系统动力学模型,以某新建工业废渣处理 PPP 项目为案例,对项目的物有所值量值进行试算,并对生产负荷、折现率、单价进行敏感性分析.结果表明:所建模型可有效用于确定 PPP 项目合理单价范围、特许经营合理期限等关键参数,能够为 PPP 项目科学决策提供支持.

关键词: PPP 项目; 物有所值; 定量评价; 系统动力学; 废渣处理

中图分类号: X 705; N 941.3; F 282 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2020)06-0765-07

Application of System Dynamics Model for VFM Evaluation of PPP Project

ZHAO Zhenyu¹, YUAN Shuguang¹, DAI Tong¹, BAO Geriletu²

(1. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. School of Construction Engineering Management, Inner Mongilia Technical
College of Construction, Hohhot 010070, China)

Abstract: In order to dynamically analyze the dynamic change trend of value for money (VFM) and its related variables in the whole life cycle of a public-private-partnership (PPP) project, according to the causal relationship between the cost and proposed benefit components of PPP project, a system dynamic model of VFM evaluation for PPP project is constructed. Taking a new PPP project of industrial waste disposal as an example, the VFM of the project is calculated, and the sensitivity of production load, discount rate and unit price are analyzed. The results show that the model can be used effectively to determine the suitable unit price range, reasonable franchise period and other key parameters of PPP projects, and can provide the support for scientific decision-making of PPP projects.

Keywords: PPP project; value for money; quantitative evaluation; system dynamics; waste disposal

社会资本和政府合作(PPP)参与公共基础设施的建设、运营和管理,提供公共产品服务,已成为公共基础设施项目开发的重要模式.近年来,我国已成为全球最大的 PPP 市场.根据现行规定,PPP 项目需要经过物有所值评价、财政承受能力论证和初步实施方案(即“两评一案”)特别准入审批后,方可进入

收稿日期: 2020-04-20

通信作者: 赵振宇(1969-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事工程建设管理、项目管理的研究. E-mail: zhaozheny-uxm@263.net.

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(8192043)

实施阶段. 在审批决策过程中,物有所值(VFM)评价是判断项目是否适合 PPP 模式的重要依据,但由于 PPP 项目 VFM 评价涉及变量多、变量之间关系复杂,且变量具有动态性,加之 PPP 项目特许经营期较长,存在众多不确定性^[1-4],增加了 VFM 定量评价的难度. 因此,构建动态的 PPP 项目 VFM 定量评价模型,以准确反映 VFM 变化趋势,对 PPP 项目科学决策有重要的现实意义.

近年来,学者针对 PPP 项目 VFM 定量评价等的研究主要集中在两个方面:一是研究关键因素对 PPP 项目 VFM 量值的影响;二是通过构建具体项目 VFM 定量评价模型,实现 VFM 的准确测度.

在 PPP 项目 VFM 量值影响因素分析方面,薛朝改等^[5]从政府、社会公众、社会资本三方角度引入系统动力学方法,分析影响 PPP 项目绩效的主要因素;崔彩云等^[6]依据文献分析、专家访谈和德尔菲法构建 PPP 项目驱动因素层次结构模型,采用层次分析法(AHP)-决策试验与评价实验室(DEMATEL)方法确定 VFM 驱动因素重要性排序;Cui 等^[7]基于结构方程(SEM)构建 PPP 项目 VFM 驱动因素框架,分析各驱动因素之间的相互关系;Park 等^[8]对韩国 3 个大型公路 PPP 项目进行事后 VFM 评估,分析国债利率和折现率对 VFM 的影响;Liu 等^[9]运用因子分析法提取 VFM 评价指标,结合项目参数,提出一种熵权 Pareto 前沿定量决策方法.

关于 PPP 项目 VFM 的定量测度研究,现有研究主要集中在 PPP 项目风险的量化及关键参数的选取. 在 PPP 项目风险量化方面,徐文等^[10]采用改进的灰色关联度法确定 PPP 项目各项风险的损失权重,采用集值统计法确定各项风险的发生概率,并将二者结合进行项目风险成本的量化;苟志远等^[11]以公立学校 PPP 项目为例,细化项目风险成本,通过指标量化确定项目的 VFM 值;梁玲霞等^[12]建立风险量化评价指标体系,应用层次分析和专家打分法建立风险成本量化模型,构建城镇棚户区改造 PPP 模式 VFM 定量评价模型;郝德强^[13]对资本成本率和现金净流量计算方法进行改进,构建适用于 PPP 项目 VFM 评价的净现值修正模型,使 VFM 量值计算更加精确;高华等^[14]基于政府与社会资本方视角,研究 PPP 项目 VFM 评价中折现率的确定方法;Xu 等^[15]根据某 PPP 公路项目定价参数及风险因素,利用系统动力学方法建立项目特许权定价模型,并提出一种考虑不可量化风险因素的基于案例推理(CBR)的定价调整模型;Guo 等^[16]利用公共部门比较基准法构建 VFM 定量评价模型,对某城市轨道交通 PPP 项目融资模式的适宜性和具体运作模式进行定量评价.

现有 VFM 定量评价研究多为在一定特许经营期限条件下对项目物有所值的评价,鲜有考虑特许经营期内相关变量动态变化对 VFM 的影响程度. 因此,迫切需要研究用以科学判定关键变量变化对 PPP 项目 VFM 影响的分析方法和有效工具. 基于此,本文从系统动态性视角出发,根据 PPP 项目全生命周期成本-收益构成,建立 VFM 定量评价系统动力学模型;然后,根据所建的模型,以某工业废渣处理 PPP 项目为案例,分析关键因素对 VFM 的影响,以帮助实现对项目的合理定价和特许经营合理期限的准确判断.

1 PPP 项目 VFM 的计算

目前常用的 VFM 定量方法有公共部门比较值(PSC)法、成本效益法和竞争性投标法^[17]. PSC 法由于适用性强,是应用最为广泛的评价方法,该方法是在假定采用 PPP 模式与政府传统投资方式产出绩效相同的前提下,比较两种采购模式下政府的净成本现值的偏差,即通过比较 PPP 模式下全生命周期内政府的净成本的现值(PPP 值)与公共部门比较值(PSC 值),判断 PPP 模式能否降低项目全生命周期成本. PPP 值(LCC_{PPP})与 PSC 值(PSC_{NPV})的计算式分别为

$$LCC_{PPP} = NPV_{EI} + NPV_{OS} + NPV_{MI} + NPV_{risk}, \tag{1}$$

$$PSC_{NPV} = RV_{PSC} + AV_C + C_{risk}. \tag{2}$$

式(1),(2)中:NPV_{EI}表示项目全生命周期内股权投资现值;NPV_{OS}表示生命周期内运营补贴的现值;NPV_{MI}表示配套投入的现值;NPV_{risk}表示风险承担的现值;RV_{PSC}表示 PSC 基准值,参照项目的建设、运营、维护的净成本;AV_C表示竞争性中立调整值,主要指对政府部门所具有的一些固有优势和劣势进行调整;C_{risk}表示项目全部风险成本之和.

为了确保公共部门比较值与影子报价 PPP 值具有可比性,PPP 项目 VFM 值的计算式为

VFM=PSC_{NPV} - LCC_{PPP}.

(3)

2 工业废渣处理 PPP 案例项目概况

G 市位于我国西南地区,是全国最大的有色金属生产基地之一.长期以来,该市绝大多数从事有色金属冶炼的工厂将工业废渣集中露天存放,据统计,截止 2015 年底,G 市累计堆存冶炼废渣量为 3 500 万 t,其中,无序堆放量为 2 000 万 t.2015 年,G 市有色冶炼企业一般废渣增量约为 61 万 t,危险废物增量约为 1.9 万 t;其他企业一般废渣增量约为 1.2 万 t,危险废物增量约为 3.1 万 t.2016 年以来,随着对落后产能淘汰力度的不断加大,目前,G 市需处置的新增废渣总量约为 58 万 t·a⁻¹.冶炼废渣中还有大量的重金属,对周边生态及群众健康造成严重威胁.根据当前区域危险固体废物防治的要求,为解决当地历史遗留的废渣处理问题,决定实施建设工业废渣集中处置场工程.

G 市拟采用 PPP 和“设计-建造-运行-转让”(DBOT)方式建设一座 838.8 万 m³ 的Ⅱ类一般工业固体废物填埋场,拟建项目特许经营期为 15 a,含建设期 1 a,总投资为 33 812.56 万元,其中,建设期投资 29 055.53 万元,建设期投资中包含工程的配套设施.项目由政府方发起,社会资本与 G 市国资公司共同组建项目公司,G 市环保局与项目公司签订 PPP 项目合同,授予项目公司投融资、设计、建设、运营管理、维护并移交项目.资本金拟为 20 250 万元,其中,政府出资 8 250 万元,社会资本出资 12 000 万元.项目采用使用者付费模式,根据同类项目产品售价预测本项目堆渣收购价格为 71.2 元·t⁻¹,特许经营期间,收费标准可根据政府最新出台的指导价格及当地物价浮动指数进行综合调整.根据项目公司收益情况,政府方和社会资本方按股权比例共享项目公司收益.

根据调研,历史存量废渣需送至堆场集中堆存的量约为 630 万 t,结合现有废渣产生量,拟建渣场入堆渣量如下:第 1~5 年为 108.2 万 t·a⁻¹;第 6 年以后为 34.1 万 t·a⁻¹.本项目运营成本主要包括管理费和废渣处置费用,其中,废渣处置费用含废渣运费、处理费及填埋费.废渣运费、处理费和填埋费分别按 22,24,21 元·t⁻¹测算.项目适用的增值税税率为 6%,附加税含城市建设附加税、教育费附加税及地方教育费附加税的税率,它们分别为 7%,3%,2%,企业所得税税率按 15%测算.由于本项目为 DBOT,建设期形成的固定资产所有权不归项目公司所有,因此,不计固定资产折旧,在特许经营期内长期使用的运营性资产计入摊销.项目运营期内融资成本率按中国人民银行同期贷款基准利率上浮 10%,按等额本息法还本付息.

3 工业废渣处理 PPP 项目 VFM 系统动力学模型

系统动力学(system dynamics)是基于系统工程理论,研究系统内部结构与动态行为关系的重要方法,尤其适用于分析经济、社会等非线性复杂系统问题^[3].PPP 项目物有所值 VFM 计算涉及多个变量,这些变量与项目建设期投资、运营维护成本、税费、运营补贴、特许经营期、折现率等多个因素存在着相互作用和联系.由于 PPP 项目 VFM 属于非线性动态性反馈系统,因此,选择应用系统动力学方法,根据项目投资收益各相关变量构建 VFM 净现值模型.

根据式(3),PPP 项目 VFM 主要涉及 PPP 和 PSC 两个子系统,根据上述工业废渣处理 PPP 案例项目特点,对两个子系统的要素进行描述,如表 1 所示.

表 1 系统及变量的构建

Tab.1 Constitution of system and variables

系统	主要变量
PSC	建设成本、运营成本、维护成本、使用者付费、应缴税费、土地使用费、行政审批费用、风险承担成本
PPP	政府股权投入、政府方风险承担支出、政府方运营支出、政府配套投入支出

根据表 1 变量间的关系构建 PPP 项目 VFM 定量评价因果关系图,如图 1 所示.图 1 中:箭头前端的“+”和“-”表示相链接的两变量变化方向一致和不一致.

在 PPP 项目 VFM 定量评价因果关系分析的基础上,结合文中 PPP 案例项目中 VFM 变量关系,构建该项目物有所值 VFM 定量评价系统动力学模型.工业废渣处理 PPP 案例项目 VFM 量值系统动力学存量流量图,如图 2 所示.

工业废渣处理 PPP 案例项目 VFM 系统动力学模型由 PSC 现值与 PPP 现值两个子系统组成.

数据设定特许经营期的第 1 年末为折现点、第 15 年末为折现结束点. 假定折现率为 8%, 贷款利率为 5.39%. 将工业废渣处理案例项目及参考数据输入 PPP 项目 VFM 定量评价系统动力学模型中, 对案例项目的 PPP 现值、PSC 现值和 VFM 量值计算过程进行仿真模拟, 结果如图 3 所示. 图 3 中: t 为特许经营期.

由图 3 可知: 项目物有所值定量评价中, PSC 现值与 PPP 现值均随特许经营期的延长而呈上升趋势, PPP 现值的初始值远低于 PSC 现值, 但 PPP 现值的上升幅度大于 PSC 现值的上升幅度; 由于在第 2~6 年处理历史存量废渣和新增废渣, 生产负荷为最大值, 从第 7 年起仅处理新增废渣, 因此, PSC 现值曲线在第 7 年以后上涨趋势逐渐变缓; 同时, VFM 量值随着特许经营期的延长呈逐年降低趋势, 且在特许经营期的第 15 年趋于 0, 接近于物有所值定量评价的临界点. 根据分析结果可知, 在现有设定条件下, 对于政府而言, 第 15 年的 VFM 量值大于 0, 因此, 本项目物有所值.

5 工业废渣处理 PPP 项目 VFM 敏感性分析

5.1 生产负荷变化对 VFM 的影响

大多数市政工程 PPP 项目在建成后的运行负荷比较稳定(如污水处理项目), 但工业废渣处理项目的生产负荷受上游产业影响较大, 特别是与高耗能、高污染的企业配套的固体废料处理项目, 其上游产能受国家及地方政策调整影响很大, 生产负荷难以预测. 针对 G 市废渣处理项目未来生产负荷, 可依据不同场景进行预测. 除前文预测的基准场景外, 还有以下 3 种不同场景.

1) 低负荷场景. 设定历史存量废渣处理量与基准场景一致, 仅处理 630 万 t 历史存量废渣, 但预测未来产业结构发生调整, 上游企业废渣生产量以 1% 的速度逐年递减.

2) 中等负荷场景. 设定历史存量废渣处理量及年新增工业废渣量与基准场景一致, 但预测未来项目公司市场运营得当, 将周边县市的其他废渣垃圾也运至项目填埋, 使项目在第 7~15 年内每年的负荷率上升 2%.

3) 高负荷场景. 设定上游企业生产废渣水平与目前一致, 但 G 市未来持续加大环境治理力度, 不仅当年产生的废渣需处理, G 市历史产生的无序堆放的 2 000 万 t 废渣也要在特许经营期内处理. 假定在高负荷场景下, 第 2~6 年, 每年处理存量废渣 108.2 万 t; 第 7~15 年, 每年处理存量废渣 104.21 万 t.

针对上述 3 种场景, 利用 PPP 项目 VFM 定量评价系统力学模型进行模拟仿真. 不同负荷场景下工业废渣处理 PPP 案例项目的 VFM 量值, 如图 4 所示.

由图 4 可知: 在特许经营期末, 高负荷场景的 VFM 量值远大于其余两个场景, 中等负荷场景和低负荷场景的 VFM 量值差异较小. 结果表明, 未来政府部门处理历史存量废渣的政策对项目 VFM 量值的影响较大, 如果仅处理现有计划的 670 万 t 存量废渣, 未来项目生产负荷的小幅波动对项目 VFM 量值影响较小.

5.2 折现率变化对 VFM 的影响

在 PPP 项目 VFM 定量评价过程中, 对政府而言, 关键且较难确定的影响因素是折现率. 在工业废渣处理 PPP 案例项目中, 借助 VFM 系统动力学模型可对折现率的敏感性进行分析, 假设废渣处理

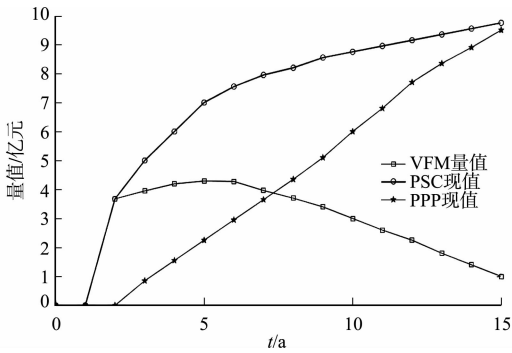


图 3 工业废渣处理 PPP 案例项目 VFM, PPP 和 PSC 变化趋势
Fig. 3 Change trend of VFM, PPP and PSC of PPP project of industrial waste disposal

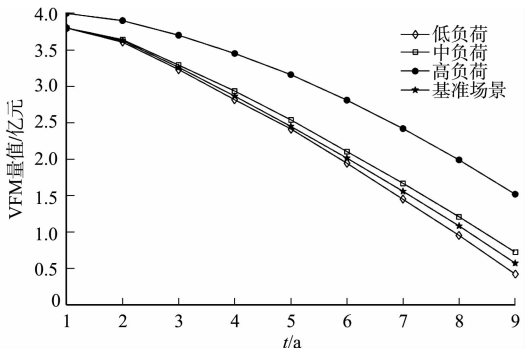


图 4 不同负荷场景下工业废渣处理 PPP 案例项目的 VFM 量值
Fig. 4 VFM of industrial waste disposal PPP case project under different load conditions

单价为 $71.2 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$,生产负荷与基准场景一致,分别选取折现率为 7%,8%,9% 三种情形,利用 PPP 项目 VFM 定量评价系统力学模型模拟 VFM 值的变化趋势.不同折现率下工业废渣处理 PPP 项目的 VFM 量值,如图 5 所示.

由图 5 可知:随着折现率的提高,特许经营期末的 VFM 量值逐渐下降;当折现率为 9% 时,特许经营期末的 VFM 等于 0.因此,从政府决策角度,如要保证项目物有所值,该项目的折现率取值应小于 9%.

5.3 处理单价变化对 VFM 的影响

由于 PPP 项目涉及政府、社会资本及使用者,PPP 项目定价是影响三方利益的关键,合理的定价标准是体现 PPP 项目公益性的保证,因此,分析价格与 VFM 之间关系尤为重要.

运用基于系统动力学的 PPP 项目 VFM 系统动力学模型,分别将废渣处理单价设为合同价($71.2 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$)、合同价上浮 10%($78.3 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$)、合同价下浮 10%($64.1 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$),模拟废渣处理单价对项目 VFM 量值的影响,根据模拟结果可进一步判断满足 VFM 量值大于 0 的最低处理单价水平.废渣处理单价在特许经营期内对 PPP 项目的 VFM 量值影响,如图 6 所示.图 6 中:处理单价为 $73.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 时,废渣处理 PPP 项目在第 15 年的 VFM 量值为 0.

由图 6 可知:随着废渣处理单价的提升,项目 VFM 量值呈下降趋势;当处理单价为 $73.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 时,第 15 年时的 VFM 为 0.由此可判断,当废渣处理单价取 $78.3 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ 时,项目特许经营期末 VFM 值将低于 0,从政府决策的角度,特许经营期缩短至 14 年比较合理.因此,为了充分发挥 PPP 项目的社会服务作用,在其他参数不变的情况下,该项目初始的废渣处理单价不应高于 $73.5 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$.

6 结束语

PPP 项目 VFM 量值的影响因素众多,且在项目生命周期内动态变化,为了能够动态分析 VFM 量值的变化过程,以 PSC 法为基准,根据 PPP 项目全寿命周期成本-收益构成要素的关系,利用系统动力学方法,构建 PPP 项目 VFM 系统因果关系模型及系统动力学定量评价模型.以某工业废渣处理 PPP 项目为案例,利用 VFM 系统动力学定量评价方法对项目的 VFM 变化趋势进行仿真,并分析 VFM 关键参数对 VFM 量值的影响.研究表明,对于固废处理 PPP 项目,在未来不同环保政策情况下,项目 VFM 量值存在较大差异;在一定生产负荷水平下,为保证项目物有所值,折现率和处理单价均存在理论上限值.文中提出的方法可以精准反映 PPP 项目特许经营期内 VFM 量值的变化趋势,并能够用于决策变量的敏感性分析,为 PPP 项目物有所值定量评价提供了一种新型实用工具.相比传统的 VFM 计算方式,基于系统动力学的 VFM 分析方法有着调整数据简便、结果清晰、指导性强的优点,具有良好的应用推广价值.

参考文献:

[1] 崔彩云,王建平,刘勇.基础设施 PPP 项目物有所值(VFM)评价研究综述[J]. 土木工程与管理学报,2016,33(4): 57-62. DOI:10.3969/j.issn.2095-0985.2016.04.011.

[2] 董娜,张萌.面向综合管廊 PPP 项目的全面后评价体系[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2019,40(4):494-502. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201812028.

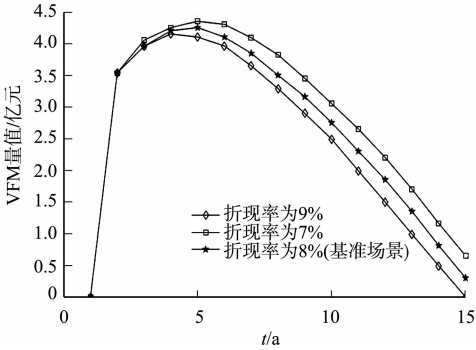


图 5 不同折现率下工业废渣处理 PPP 项目的 VFM 量值
Fig. 5 VFM of industrial waste disposal PPP project under different discount rates

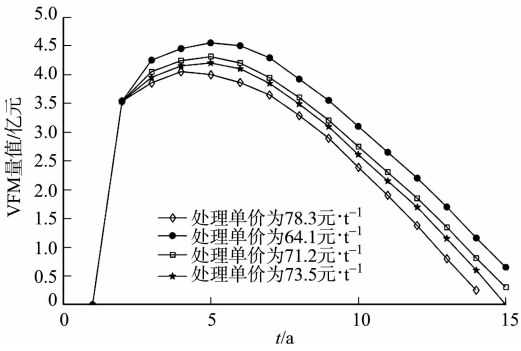


图 6 不同单价下工业废渣处理 PPP 项目的 VFM 量值
Fig. 6 VFM of industrial waste disposal PPP project under different prices

- [3] 叶晓甦,石世英,张德琴.考虑交易成本的PPP项目收益系统仿真研究[J].建筑经济,2017,38(6):40-46. DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.201706040.
- [4] 杜杨,丰景春.考虑风险偏好的Stackelberg博弈模型及其在PPP项目中的数值求解[J].华侨大学学报(自然科学版),2015,36(4):472-477. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.2015.04.0472.
- [5] 薛朝改,周金库.三方视角下PPP项目绩效的系统动力学建模与分析[J].科技管理研究,2019(17):205-213. DOI:10.3969/j.issn.1000-7695.2019.17.027.
- [6] 崔彩云,王建平,刘勇,等.运用AHP-DEMATEL的PPP项目VFM驱动因素重要性分析[J].华侨大学学报(自然科学版),2018,39(5):682-688. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201801007.
- [7] CUI Caiyun, WANG Jianping, LIU Yong, *et al.* Relationships among value-for-money drivers of public-private partnership infrastructure projects[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2019, 25(2):04019007. DOI:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000479.
- [8] PARK H, LEE S, KIM J. Do public private partnership projects deliver value for money? An ex post value for money (VfM) test on three road projects in Korea[J]. International Journal of Urban Sciences, 2018, 22(4):579-591. DOI:10.1080/12265934.2018.1455528.
- [9] LIU Feiran, LIU Jun, YAN Xuedong. Quantifying the decision-making of PPPs in China by the entropy-weighted Pareto front: A URT case from Guizhou[J]. Sustainability, 2018, 10:1753. DOI:10.3390/su10061753J.
- [10] 徐文,孟枫平.PPP项目物有所值定量评价的风险量化方法研究[J].山东建筑大学学报,2019,34(2):57-63. DOI:10.12077/sdjz.2019.02.010.
- [11] 荀志远,高新育,孙悦.物有所值定量评价法在公立学校PPP项目中的应用[J].建筑技术,2018,49(2):217-219. DOI:10.3969/j.issn.1000-4726.2018.02.029.
- [12] 梁玲霞,韩芳.城镇棚户区改造PPP模式物有所值定量评价研究[J].金融理论与实践,2018(6):72-77. DOI:10.3969/j.issn.1003-4625.2018.06.012.
- [13] 郝德强.基于净现值修正模型的PPP项目物有所值评价[J].会计之友,2018(15):90-93. DOI:10.3969/j.issn.1004-5937.2018.15.020.
- [14] 高华,侯晓轩.PPP物有所值评价中折现率的选择[J].财会月刊,2018(8):107-112. DOI:10.19641/j.cnki.42-1290/f.2018.08.014.
- [15] XU Yelin, SUN Chengshuang, SKIBNIEWSKI M J, *et al.* System Dynamics (SD)-based concession pricing model for PPP highway projects[J]. International Journal of Project Management, 2012, 30(2):240-251. DOI:10.1016/j.ijproman.2011.06.001.
- [16] GUO Xuemeng, WANG Zhuojun, LI Zhengyu. Research on VFM quantitative evaluation of urban rail transit using PPP mode-taking Taiyuan Metro Line 2 as an example[C]//4th International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering. Kyoto:IEEE Press, 2017:1-5. DOI:10.1109/IEIS.2017.8078639.
- [17] 刘慧慧,孙剑,李飞飞.城市地下综合管廊应用PPP模式的VFM评价[J].土木工程与管理学报,2016,33(4):122-126. DOI:10.13579/j.cnki.2095-0985.2016.04.021.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:方德平)