

PPP项目绩效的系统动力学建模与分析

——以某高速公路为例

薛朝改(教授), 周金库

【摘要】 PPP项目绩效水平低下是影响PPP模式推广应用的主要障碍。研究PPP项目绩效需分析其影响因素,立足项目投入、项目风险成本和项目效益三个子系统,分析各子系统的影响因素,并以此为基础构建项目绩效的系统动力学模型。然后,以某高速公路为例,进行模型的有效性检验、仿真分析以及灵敏度分析,以验证模型的适用性。结果表明:提高政府信用、公众信用和公众满意度对PPP项目的绩效具有促进作用;而增加年运营成本、减小投资回报风险系数等对PPP项目绩效具有抑制作用。最后基于政府、社会资本方以及公众等项目参与方对PPP项目绩效的提升提出合理的建议。

【关键词】 PPP; 系统动力学; 项目绩效; 高速公路

【中图分类号】 F832 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1004-0994(2019)08-0171-6

一、引言

PPP(Public Private Partnerships)即政府与社会资本合作模式,其本质是参与方对公共基础项目以关系契约的方式合作融资、合作建设、共同经营和项目移交的过程^[1]。近年来,PPP模式在我国发展迅速,被广泛应用于公众基础设施建设领域,尤其是应用于水利、道路、桥梁、垃圾处理等大型工程建设中^[2]。然而在实践中,融资难、项目绩效低下等问题依然是PPP模式推进过程中的主要障碍^[3]。有数据显示,1990~2012年,我国立项的PPP项目合计达1064项,然而项目的实施质量很不理想^[4]。因此,研究PPP项目绩效,分析其影响因素,对于提高项目运营质量有重要的意义。

目前,国内外学者主要从项目的风险和收益,项目的特许期、特许价格以及残值等方面对PPP项目的绩效问题进行了研究。对于项目风险的研究,元霞等^[5]基于对失败的PPP案例的分析,从中找出了导

致这些项目失败或出现问题的主要风险因素。Brandão等^[6]认为,鉴于PPP项目投资风险较大,为了吸引社会资本的参与,政府应提供补贴和最低需求担保等风险缓解机制。Xu等^[7]以可行性研究报告为依据,提出了采用案例推理(CBR)定价调整方法来规避无法量化的风险因素。

对于项目收益的研究,孙春玲、任菲等^[8]以天然气项目为例分析了公私合营项目的收益问题,指出特许期、特许价格、年加气量以及预期收益率等项目收益存在显著影响。对于项目特许价格的研究,段世霞、谢芳^[9]利用系统动力学方法,分析了PPP项目特许价格的影响因素,发现政府补贴、客流量对城市轨道交通PPP项目的价格具有抑制作用,年运营成本和同类竞争项目对价格具有促进作用。对于PPP项目残值的研究,Yuan等^[10]通过文献研究和问卷调查的方式,分析了PPP项目移交阶段可能发生的风险。张宝震等^[11]基于项目收益、项目成本、外部环

【基金项目】 国家自然科学基金项目(项目编号:71371173); 河南省科技攻关计划(高新技术领域)(项目编号:172102210485); 河南省高校科技创新人才支持计划(项目编号:16HASTIT037); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划(项目编号:2014GGJS-103)

境、客户满意度四个子系统分析了影响建筑节能项目绩效的因素。王超等^[12]基于CSF和KPI方法分析了PPP项目全寿命周期内各个阶段的绩效影响因素,总结出经济状况、社会环境、合作机制、法律法规等方面对PPP项目绩效的影响。

总的来说,国内外学者对PPP项目进行了多方面的研究,而涉及PPP项目绩效的研究较少,PPP项目的融资难题依然存在,项目绩效比较低。为此,本文在前人研究的基础上,对影响PPP项目绩效的因素以及各因素之间的因果关系进行分析,通过引入系统动力学方法,以PPP项目绩效作为终端输出量,对相关因素进行量化,利用VENSIM软件进行模拟仿真和灵敏度分析,找出影响PPP项目绩效的关键因素,并对如何应对风险、提高绩效水平提出相应的建议。

二、PPP项目绩效的影响因素及其因果关系

1. PPP项目绩效的影响因素。PPP项目具有投资金额大、合作主体众多、合作周期较长、外部环境复杂等特点^[13],要提升PPP项目绩效需考虑多方面的因素,而各因素之间既相互联系又相互独立。为了能够合理地分析各因素对PPP项目绩效的影响,笔者在阅读大量文献的基础上,对PPP项目绩效的影响因素进行了汇总,具体见表1。

PPP项目绩效的影响因素可分成三类,包括项目投入子系统、项目风险成本子系统、项目效益子系统,各子系统具有高阶次、非线性,以及多重的反馈

分类	影响因素	说明
项目投入	建设投资	自筹资本金、贷款资金、贷款利息
	运营成本	运营维护费、工资福利、管理费用、保险费
	融资成本	资金使用成本、公众信用成本、风险管理成本
项目风险成本	政府信用风险成本	因发生风险给项目本身造成的损失,具体的损失根据风险的严重程度来估量
	政策风险成本	
	投资回报风险成本	
	特许价格变化风险成本	
项目效益	经济效益	销售收入、政府补贴、广告收入、加油费等
	社会效益	项目的服务质量、公众满意度 ^[14]

机制,它们结合而成复杂而开放的系统。

2. PPP项目绩效影响因素及相互间的因果关系。构建系统动力学模型的基础是分析PPP项目绩效影响因素之间的关系,利用系统动力学反馈原理绘制出其因果关系循环图,如图1所示,图中带“+”的箭头表示某变量的增加将会引起相关变量的增加,带“-”的箭头表示某变量的增加将会引起相关变量的减少。

PPP项目绩效系统由项目投入子系统、项目风险成本子系统和项目效益子系统组成,其中反馈路

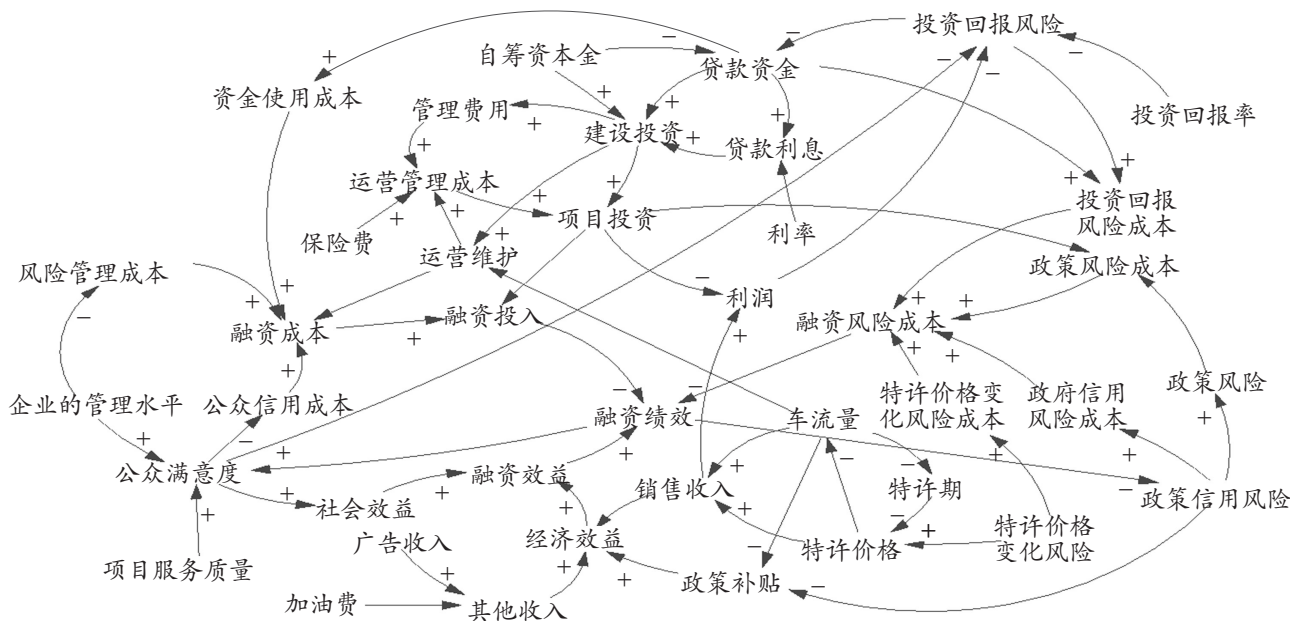


图1 PPP项目绩效的影响因素及相互间的因果关系

径共有12条。各影响因素之间既相互联系,又相互独立,形成了多重因果反馈回路,共同作用于PPP项目绩效。

三、PPP项目绩效系统动力学模型构建

1. PPP项目绩效系统动力学流程图。在研究PPP项目绩效影响因素因果关系的基础上,构建其绩效的系统动力学模型。本文以投入产出比作为项目绩效的评价指标,效益越高、投入结构越复杂、成本越低,则绩效越好。利用流量与存量的变化机制,构建起PPP项目绩效系统动力学流程图,如图2所示。

由图2可知,项目绩效作为最终的输出端,受项目投入、项目风险成本、项目效益三个子系统的直接影响,在进行系统各因素的量化处理时,对影响项目绩效的因素进行分类,以项目投入、项目风险成本、项目效益三个子系统作为存量,以其他因素作为辅助变量进行建模,以事实为依据进行量化。

2. 仿真方程及说明。根据系统动力学原理,利用VENSIM软件进行仿真。以相关学者的研究和相关案例为基础,确定模型中的主要变量、方程和参数(如表2所示),运用随机正态分布函数、条件函数、随机函数、线性非线性函数、表函数等进行仿真。

在PPP项目绩效系统动力学流程图中,项目绩效为最终的输出值,项目投入、项目风险成本和项目效益子系统为项目特许期内各个年份的累积量。利用现有的公式和相关案例通过数据拟合的方式进行仿真方程设定和某些变量的量化。比如车流量,根据已

表2 仿真方程及说明

变量类型	主要变量及方程	说明
状态变量	项目绩效=项目效益/(项目投入+项目成本)等	项目投入、项目风险成本、项目效益等变量与之类似
决策变量	项目投资=建设投资+运营成本; 社会效益=车流量×特许价格×公众满意度; 经济效益=销售收入+政府补贴+其他收入; 政府补贴=IF THEN ELSE(车流量Time<最低车流量标准,政府补贴,0)等	其他决策变量与之类似; 政府与社会资本约定车流量范围,当低于最低标准时政府进行补贴,高于最低标准时不补贴
辅助变量	建设投资=自筹资本金(Time)+贷款资金(Time)+贷款利息; 贷款利息=贷款资金×利率; 风险管理成本=项目风险成本×项目风险成本系数; 特许价格变化系数=RANDOM NORMAL(0,3,1.5,1,0)等	其他辅助变量与之类似

完成项目近几年的运营情况,拟合特许期内车流的变化等。

四、系统动力学模型有效性检验与灵敏度分析

1. 案例简介。某高速公路通过PPP模式进行建设,特许期为30年,在规定的特许期结束后将无条件地移交给政府部门。该项目于2006年开始施工,建设期为3年,建设投资见表3,运营成本见表4,年交通量见表5。

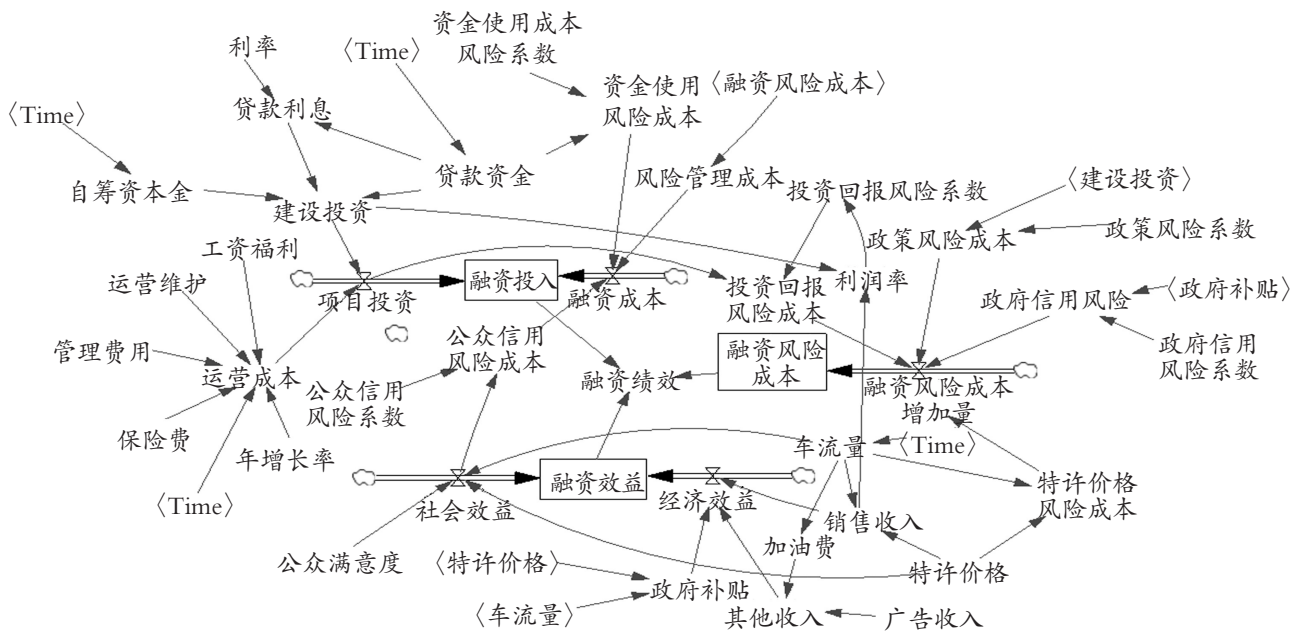


图2 PPP项目绩效系统动力学流程图

建设投资	自筹资本金	贷款资金	贷款利息(0.0567)	总计
第1年	19936	37093	2387	59416
第2年	49833	103628	5971	159432
第3年	29897	62174	3547	95618
小计	99666	202895	11905	314466

项目	金额
工资福利费	3.6(万/年)×120(人)=432
运营维护费	3376
管理费	432.6
保险费	175
总计	4415.6

年份	年交通量(万辆)	年份	年交通量(万辆)	年份	年交通量(万辆)
2010	931	2020	2300	2030	3035
2011	1323	2021	2453	2031	3108
2012	1445	2022	2523	2032	3128
2013	1533	2023	2596	2033	3142
2014	1599	2024	2643	2034	3161
2015	1715	2025	2708	2035	3177
2016	1825	2026	2761	2036	3194
2017	1899	2027	2827	2037	3212
2018	2053	2028	2895	2038	3230
2019	2179	2029	2964	2039	3245

上述数据来源于可行性研究报告,相关的参数设置如下所示。

年增长率=0.03

运营成本=4415.6×(1+年增长率)^{time}

自筹资本金、贷款资金、车流量为时间的表函数,其中自筹资本金为:[(1,0)-(33,49833)],(1,19936),(2,49833),(3,29897),(4,0),(5,0),(6,0),(7,0),(8,0),(9,0),(10,0),(11,0),(12,0),(12,0),(13,0),(14,0),(15,0),(16,0),(17,0),(18,0),(19,0),(20,0),(21,0),(22,0),(23,0),(24,0),(25,0),(26,0),(27,0),(28,0),(29,0),(30,0),(31,0),(32,0),(33,0)},其他表函数表示方法与之类似。其他收入=广告收入+加油费,其中:广告收入为1000万元/年;加油费,假设一半的车辆需要加油,且按每次加油200元计算。

政府补贴=IF THEN ELSE(车流量 Time<最

低车流量标准,政府补贴,0),这里取车流量小于2500辆,实行政府补贴。借鉴张智勇^[15]的研究,政策风险系数=0.8,政府信用风险系数=0.8。

2. 系统动力学模型的有效性检验与仿真分析。为便于计算,本文在项目建设期间把部分收入(如广告收入)和某些运营成本平均分摊到特许期内的每一年,特许期内PPP项目绩效如图3所示。

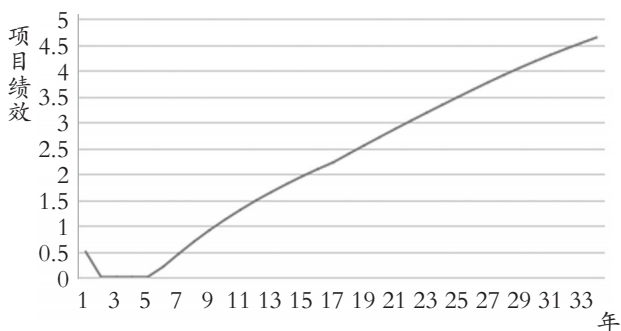


图3 PPP项目绩效

在建设期间,项目投入资金巨大、项目风险成本高而项目效益较低,使得建设期间项目绩效接近为0。随着项目的正常运行,收入逐渐增多,项目效益也越来越好,项目绩效水平也越来越高,但后期随着运营成本的增大,项目绩效的增率也在逐渐下降,在图形中曲线先下降再上升,斜率逐渐平缓。因此,模型与事实基本吻合,证明模型是有效的。

3. 系统动力学模型的灵敏度分析。灵敏度主要是指某些参数的变化对模型输出结果的影响程度。通过对PPP项目绩效各项影响因素进行灵敏度调试,得出政策风险、政府信用风险、运营成本增率、公众满意度以及投资回报系数等对PPP项目绩效的影响较大。

(1)政策风险调整。本文借鉴张智勇^[15]的研究,假设在原始状态下,政策风险系数为0.8,当政策风险系数降低20%时,PPP项目绩效变化如图4所示,与图中current(原始状态)相比,项目绩效从第7年之后上升比较明显,说明PPP项目绩效受政策的影响较大。因此,为了降低由政策风险而增加的成本,一般采用转嫁风险的方式。一方面,PPP项目公司可以通过与政府前期的谈判,并签订各种协议,将政策风险转嫁给政府部门;另一方面通过与保险公司签订相关的保险合同,将政策风险转嫁给保险公司,进而减少因政策风险引起的成本增加。

(2)政府信用风险调整。政府信用风险是指由于政府领导班子换届或者双方在签订合同时考虑得不够周全,导致发生了高额的合同履行成本,或者政府

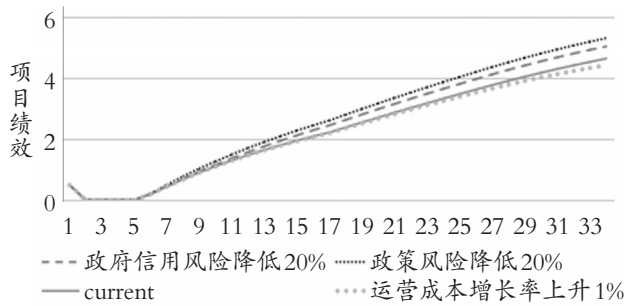


图4 政策风险、政府信用风险、运营成本增长率变化对项目绩效的影响

盲目扩张使财政支付能力不够而导致违约，从而增加了PPP项目的政府信用成本。本文借鉴张智勇^[15]的研究，假设政府信用风险系数为0.8，当政府信用风险降低20%时，项目绩效变化如图4所示，第9年之后项目绩效变化明显，说明政府信用对PPP项目绩效也有一定的影响。为此，可采取风险转嫁和增加信用评估的方式降低政府信用风险。一方面，双方在签订合同时要明确各自的权利和义务，确定合理的权责边界，明确违约责任；另一方面，PPP项目公司在项目建设前期应认真考察政府的业绩、信用程度，建立政府信用评估体系等，尽量规避政府信用风险。

(3)运营成本增长率调整。运营成本增长率受外界环境的影响较大，比如战争、洪水、台风等因素引起经济形势的不稳定，进而影响运营成本的增长。本文假设运营成本的增长率为3%，由于PPP项目周期较长，项目面临的不确定因素较多，当运营成本的增长率上升1%时，如图4所示，与图中current相比，从第17年起项目绩效开始下降，如果增率变化的幅度加大，绩效的变化会更加明显。说明外界环境的变化影响着项目成本，而项目成本又影响着PPP项目的绩效水平。因此，应在全生命周期内根据现有数据进行合理的预测和及时调整，以降低项目的运营成本，增加项目收益。

(4)公众满意度调整。公众对PPP项目的满意度受许多因素的影响，比如项目的服务质量、运营管理水平、服务价格以及公众自身的收入水平等。如果公众对项目较为满意，则其对项目的信任度提高，最终提高项目的效益。在模型仿真中，当公众满意度下降20%时，项目绩效变化如图5所示。随着运营时间的变化，项目绩效水平明显下降，说明公众满意度将直接影响项目的绩效水平。为此，对于项目公司来说，应及时解决客户反映的问题，提高服务水平和公众满意度。

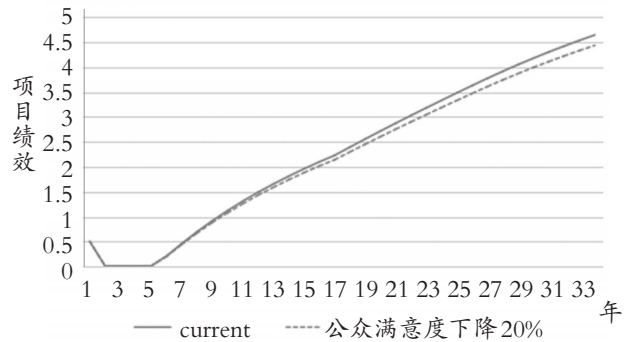


图5 公众满意度变化对项目绩效的影响

(5)投资回报系数的调整。投资回报是社会资本方关注的焦点，社会资本方投资PPP项目的最终目的是以最小的投资获得最大的收益。PPP项目由于投资回收期较长、外界环境的不确定性较大，对其发展情况的预测难免会出现偏差，造成实际与预测的投资回报有所差别，本文用投资回报风险成本来表示。投资回报风险成本越高，则投资回报越低，项目绩效就越低。为便于分析，现假设一个投资回报系数来计算投资回报风险成本，投资回报系数的变化对投资回报风险成本的影响如图6所示。投资回收期越长，外界环境对PPP项目的影响就越大，投资回报风险成本就越高，在图中表现为逐渐上升的曲线；当投资回报系数下降时，投资回报风险成本逐渐增加，造成投资回报降低，项目绩效下降。由此，投资回报系数的变化引起投资回报风险成本的变化，进而影响投资回报和项目绩效。这说明投资回报率对整个项目的绩效具有重要的影响。为此，对社会资本方来说，在项目的可行性研究期间要详细调查该地的市场经济状况，分析类似的成功案例，结合本地的实际情况合理预测投资回报率，以降低投资回报风险、提高项目绩效。

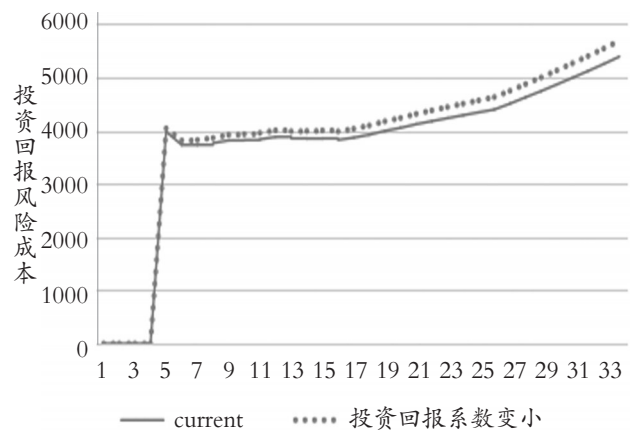


图6 投资回报系数变化对投资回报风险成本的影响

五、结论及建议

PPP模式的主要参与方为政府、社会资本方及社会公众,本文从三方的角度分析了影响PPP项目绩效的主要因素。运用系统动力学的方法,通过对某高速公路中项目投入、项目风险成本以及项目效益的影响因素分析,构建了PPP项目绩效的系统动力学模型,运用VENSIM软件对案例进行分析并得出结论。

就政府来说,政策风险和政府信用风险是影响PPP项目绩效的重要因素,政府进行公共基础设施建设的目的是为社会谋福利,所以政府应当行使好自己的监督权力,并维持国内社会经济环境的稳定,同时严格按照与社会资本方签订的合同履行责任和义务,当客流量不足时,给予社会资本方适当的政府补贴,调动其积极性,促使其更好地为公众做贡献。

就社会资本方来说,运营成本增长率和特许价格是影响PPP项目绩效的关键因素,对此社会资本方应当根据当前社会经济形势尽可能降低运营成本,可以在管理方面充分调动工作人员的积极性,提高工作效率;在运营维护方面,应充分了解项目状况,及时发现问题并解决问题,以免造成不必要的损失,从而降低运营成本,提高项目绩效。对于项目的特许价格,则需要项目公司充分搜集历史数据,对公众满意度进行及时的反馈与分析,以合理地制定使用价格,提高公众满意度及项目绩效。

就公众来说,基础设施的建设能够极大地方便人民的生活,提高人民生活品质,而基础设施项目服务的好坏需要接受人民的评判。因此,公众满意度是影响PPP项目绩效的重要因素,也是PPP项目获取收入的重要保障,公众在享受PPP项目提供服务的同时,应积极行使监督和反馈的权力,对项目做出客观、合理的评价。

主要参考文献:

- [1] 叶晓甦,徐春梅.我国公共项目公私合作(PPP)模式研究述评[J].软科学,2013(6):6~9.
- [2] 高颖,张水波,冯卓.PPP项目运营期间需求量下降情形下的补偿机制研究[J].管理工程学报,2015(2):93~102.
- [3] 李钟文,张英杰.PPP项目融资的信用评级[J].中国金融,2015(15):28~30.

- [4] 张水波,郑晓丹.经济发展和PPP制度对发展中国家基础设施PPP项目的影响[J].软科学,2015(7):25~29.
- [5] 亓霞,柯永建,王守清.基于案例的中国PPP项目的主要风险因素分析[J].中国软科学,2009(5):107~113.
- [6] Brandão L. E., Bastian-Pinto C., Gomes L. L., et al.. Government supports in public-private partnership contracts: Metro line 4 of the são paulo subway system [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2012(3):218~225.
- [7] Xu Y., Sun C., Skibniewski M. J., et al.. System Dynamics (SD) - based concession pricing model for PPP highway projects [J]. International Journal of Project Management, 2012(2):240~251.
- [8] 孙春玲,任菲,张梦晓.公私合营项目收益系统动力学分析——以天然气项目为例[J].中国科技论坛,2016(3):131~137.
- [9] 段世霞,谢芳.基于系统动力学的城市轨道交通PPP项目价格影响因素研究[J].工业技术经济,2014(7):117~122.
- [10] Yuan J., Chan A. P. C., Xiong W., et al.. Perception of residual value risk in public private partnership projects: Critical review [J]. Journal of Management in Engineering, 2013(3):04014041.
- [11] 张宝震,郭汉丁.建筑节能服务企业项目融资影响因素动态反馈分析[J].天津城建大学学报,2015(5):373~379.
- [12] 王超,赵新博,王守清.基于CSF和KPI的PPP项目绩效评价研究[J].项目管理技术,2014(8):18~24.
- [13] Leviäkangas P., Ojala L., Töyli J.. An integrated ecosystem model for understanding infrastructure PPPs [J]. Utilities Policy, 2016(42):10~19.
- [14] 杨宏伟,周晶,何建敏.在BOT模式下收费道路的收益和社会效益研究[J].管理工程学报,2004(1):27~30.
- [15] 张智勇.PPP模式下高速公路项目投融资风险管理研究[D].北京:中国科学院大学(工程管理与信息技术学院),2016.

作者单位:郑州大学管理工程学院,郑州 450001