

# 基于系统动力学的高速公路 PPP 项目 特许定价模型研究

冀雅茜<sup>1</sup>, 陶睿征<sup>2</sup>

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2.长沙市公路桥梁建设有限责任公司, 湖南 长沙 410007)

**摘要:** 特许价格的确定是高速公路公共私营合作制(Public-Private-Partnership, PPP)模式项目可行性的关键, 直接影响社会资本参与的积极性和可能性。如今常用的 PPP 项目特许价格的确定方法较单一, 仅考虑某一方利益, 没有综合考虑政府、私营部门及高速公路使用者之间的相互关系和影响, 定价标准过于局部, 不能更好地发挥基础设施的社会效益。文中通过文献综述确定高速公路 PPP 项目的定价参数, 建立基于系统动力学的特许定价模型, 使特许定价达到政府与私营部门满意的平衡点, 并通过案例验证了该模型的有效性。

**关键词:** 工程经济; 高速公路; 公共私营合作制(PPP); 特许定价; 系统动力学

中图分类号: U415.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)04-0200-04

公共私营合作制(Public-Private-Partnership, PPP)为一种政府和私营部门之间的合同业务关系, 政府通过特许协议授权私营企业进行基础设施项目融资、设计、建造、运营、维护, 私营企业履行这些责任并提供相应的产品和服务, 它是公共部门和私营企业通过一个项目不同层次的互补来更多地参与公共服务的一种模式。PPP 项目的核心是特许价格, 它决定项目的可行性和盈利能力, 直接影响项目参与者的积极性和可能性。高速公路 PPP 项目由于投资额较大、建设周期长、投资回收慢、影响因素复杂, 特许定价更难确定。而原有的定价方法对风险因素考虑不充分, 定价的准确性受到影响。为弥补之前定价方法的不足, 该文提出采用系统动力学定价模型确定高速公路 PPP 项目的特许价格。

## 1 系统动力学

系统动力学运用“凡系统必有结构, 系统结构决定系统功能”的系统科学思想, 根据系统内部组成要素互为因果的反馈特点, 从系统内部结构找寻问题发生的根源。它描述了因果关系、流量及反馈的回路, 是一种解决复杂问题的有效办法。

高速公路项目因其自身造价高、投资大、过程时间长等特点, 其定价是一个非常复杂的过程。高速公路 PPP 项目更是由于参与方较多, 涉及的风险更多, 其定价决策过程更复杂。运用系统动力学进行定价, 能考虑反馈回路中价格参数复杂的相互关联

的结构, 适用于高速公路 PPP 项目基本价格设置。

## 2 特许定价的价格参数和涉及的风险因素

PPP 项目通常是在可行性研究的基础上整体考虑影响价格的所有参数。与特许定价直接相关的参数为现金流出(成本)和现金流入(利润), 可利用这两个参数通过净现值 NPV 计算确定特许价格。PPP 项目的定价由成本、利润和税金构成, 这些在项目建设费用中占据大部分, 并且决定价格水平。

### 2.1 现金流出

高速公路 PPP 项目的现金流出(成本)包括项目建设投资和运营成本。项目投资一般是在详细、可靠的可行性研究后确定的, 由于收集了合理、完整又可靠的基本数据, 建设投资的估算精度较高; 然后根据估算方法分别计算项目的基本预备费、涨价预备费及建设周期贷款利息, 最后整理形成建设投资。运营成本是指项目日常的运营费用, 如营业费用和财务费用等。

### 2.2 现金流入

高速公路 PPP 项目的现金流入(利润)由交通量大小、特许时间长短和特许价格高低决定, 它保证项目经济上的可行性。

### 2.3 影响高速公路 PPP 项目的风险因素

由于 PPP 项目建设及运营周期相对较长, 涉及的风险因素很多, 难免实际的现金流入、现金流出会和估计值出现偏差, 设计特许定价时需考虑表 1 所

表 1 高速公路 PPP 项目特许定价涉及的风险因素

风险类别	风险因素	风险说明
系统风险	法律风险	包括过度的行政干预、政府与特许公司之间权利不明、行政效率低
	不完善的 PPP 法律	缺乏统一的国家 PPP 法律;地方政府法律法规不一致导致成本增加
	利率波动	地方经济和银行体系不完善引起利率变动而带来损失
	经济风险	因为一些材料、设备从国外进口,货币汇率波动或兑换困难会带来损失
非系统风险	招标阶段	价格的竞争力风险 PPP 定价需考虑到竞争
	融资风险	中国国内贷款可用性十分有限
	施工阶段	项目变更 意外的变化、错误的设计等导致成本超支、计划延迟
	运营阶段	已完成风险 项目没有达到预期目标,不能按计划投入生产,导致运营期现金流量不足
非系统风险	未经证实的工程技术	包括采用的技术不能满足预定的标准要求、新技术未得到证实
	不可预测天气	天气条件差
	操作成本超支	操作成本超过预算
	缺乏基础设施的支持	建筑所需配套设施不能及时提供
运营阶段	市场风险	因为 PPP 项目周期长,市场风险较高
	项目扩张风险	可能会遇到市场需求量增加的情况

示风险因素。

### 3 高速公路 PPP 项目基本价格的确定

基于系统动力学,考虑高速公路 PPP 项目特许定价的价格参数和特许定价变量的整体结构,运用因果循环构造的高速公路 PPP 项目特许定价流程见图 1。因果关系可按箭头方向被追踪,两个变量之间关系的增加和减少由+或-来表示,定价参数的任何变化都会对价格产生影响。

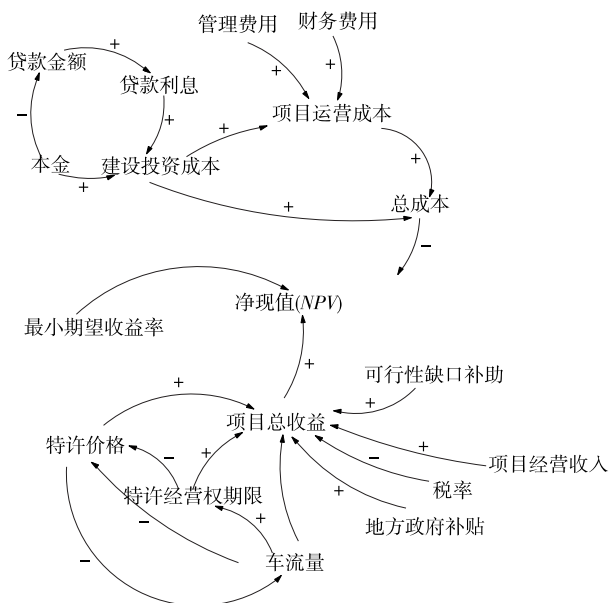


图 1 高速公路 PPP 项目的定价循环示意图

高速公路 PPP 项目的总成本由建设投资成本和运营成本确定。建设投资成本能通过正反馈回路影响运营成本,较多的成本投资将使高速公路的长度增加,进而引发相对更高的运营成本。由于总成本增加,特许价格将被扩大。另一方面,优惠的特许价格、车流量和特许权期限之间存在一个负面反馈循环,车流量或特许权期限增加会对特许价格产生不良影响(见图 1)。假定政府预设的特许权期限一定,私营企业的贷款、政府给予的补贴等关键因素包括在这个模型里,在这个基础上,总收益率、净现值(NPV)都可用每年的总成本减去折扣率后的总收入来确定。因果循环关系是提供系统动力学构建定价模型参数关系的基础,NPV 是投资决策的主要依据。一个高速公路 PPP 项目的  $NPV \geq 0$ ,便认为该项目是可行的(见图 2)。

### 4 案例分析

以某高速公路工程为例,说明基于系统动力学的高速公路 PPP 项目特许定价模型的计算过程,验证其有效性。研究数据来源于该高速公路的可行性研究报告。

#### 4.1 项目概况和价格参数

该高速公路采用政府和公司 BOT 类型的公私合作模式,2005 年开始建设,建成后有 30 年的特许期,2009 年开始 2038 年结束,在该特许期后转交给

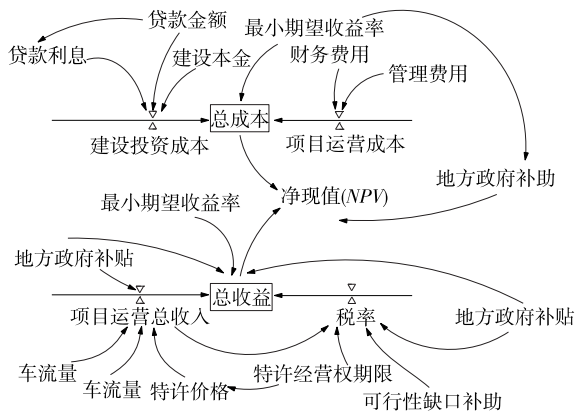


图2 基于系统动力学的高速公路PPP项目特许定价模型

政府。从项目可行性研究报告中提取真实数据和信息制定现金流,总建设投资和运营成本分别由其子参数构成现金流。该项目所有权在特许期结束时转移给政府,因此没有剩余价值。计算参数见表2~5。

表2 高速公路特许定价计算参数(建设投资) 万元

时间	资本基金	贷款	贷款利息
第一年	2 848	5 922	341
第二年	7 119	14 804	853
第三年	4 271	8 882	512
总投资	45 551		

注:贷款利息按利率0.0576计算。

表3 高速公路特许定价计算参数(运营成本)

项目	成本
工资和福利/ (万元·年度 <sup>-1</sup> )	5.14 万元/月×12=61.68
电力和照明技术/ (万元·年度 <sup>-1</sup> )	0.5 万元/d×365=182.5
维修保养费/万元	0.55%×工程费=158
大修支出/(万元·年 <sup>-1</sup> )	147.0
管理费/(万元·年 <sup>-1</sup> )	61.8
保险费/(万元·年 <sup>-1</sup> )	25.0
总运营成本/万元	635.98

注:大修每5年进行一次。

表4 高速公路特许定价计算参数(交通量) 辆

年份	日交通量	年份	日交通量
2009	26 000	2024	73 871
2010	37 155	2025	75 639
2011	39 425	2026	77 451
2012	41 831	2027	79 306
2013	44 385	2028	81 204
2014	47 094	2029	83 149
2015	49 970	2030	85 140
2016	53 020	2031	85 610
2017	56 256	2032	86 084
2018	59 689	2033	86 559
2019	63 333	2034	87 038
2020	67 199	2035	87 519
2021	68 810	2036	88 002
2022	70 457	2037	88 489
2023	72 143	2038	88 977

表5 高速公路特许定价其他计算参数

项目	参数值
特许经营期/年	33.0
广告收入/(万元·年 <sup>-1</sup> )	206.0
营业税及额外/%	5.5
最低吸引回报率/%	10.0

根据上述基本情况,列出价格参数之间关系的数学公式(见表6)。

#### 4.2 基本定价的确定

根据表2~6中的数据和公式,运用基于系统动力学的特许定价模型确定特许经营价格为22.9元,项目净现值NPV见图3。 $NPV>0$ ,说明该项目在财务上可行。而且系统动力学模型计算价格与该项目实际价格非常接近,证明该定价模型可靠,适合高速公路PPP项目。

表6 价格参数之间的数学公式

参数名称	数学公式
交通量	$\{[(0,0),(40,4\ 000)],(1,0),(2,0),(3,0),(4,949),(5,1\ 356.16)(6,1\ 439.01),$ $(7,1\ 526.83),(8,1\ 620.05),(9,1\ 719),(10,1\ 824),(11,1\ 935)(12,2\ 053),(13,$ $2\ 179),(14,2\ 312),(15,2\ 453),(16,2\ 512),(17,2\ 572)(18,2\ 696),(19,2\ 633),$ $(20,2\ 761),(21,2\ 827),(22,2\ 895),(23,2\ 964),(24,3\ 035)(25,3\ 108),(26,$ $3\ 125),(27,3\ 142),(28,3\ 159),(29,3\ 177),(30,3\ 194)(31,3\ 212),(32,3\ 230),$ $(33,3\ 248)\}$

续表 6

参数名称	数学公式
建设本金	$\{(0,0),(40,60\ 000)\},(1,19\ 364),(2,48\ 409),(3,29\ 045),(4,0),(5,0),(6,0)(7,0),(8,0),(9,0),(10,0),(11,0),(12,0),(13,0),(14,0),(15,0),(16,0)(17,0),(18,0),(19,0),(20,0),(21,0),(22,0),(23,0),(24,0),(25,0),(26,0)(27,0),(28,0),(29,0),(30,0),(31,0),(32,0),(33,0)\}$
建设投资	建设投资=资本金+贷款本金+贷款利息
最终时间	最终时间=33 年
政府补贴	政府补贴=建设成本 $\times(1+\text{最小吸引回报率})\times\text{时间}$
产生收入	产生收入=1 000
初始时间	初始时间=1 年
贷款利率	利率=0.0576
贷款本金	$\{(0,0),(10,200\ 000)\},(1,40\ 267),(2,100\ 661),(3,60\ 400),(4,0),(5,0),(6,0),(7,0),(8,0),(9,0),(10,0),(11,0),\cdots,(33,0)\}$
最小吸引回报率	最小吸引回报率=0.1
NPV	$NPV=\text{总收入}+\text{补贴}-\text{总成本}$
运营成本	运营成本=4 325 $\times(1+\text{年增长率})\times\text{时间}$
年增长率	年增长率=0.03
销售收入	销售收入=年交通量 $\times\text{价格}$
税	税=收入 $\times 0.055$
总成本	总成本=(建设成本+运营成本) $\div(1+\text{最小吸引回报率})\times\text{时间}$
总收入	总收入=(销售收入+广告收入) $\div(1+\text{最小吸引回报率})\times\text{时间}$

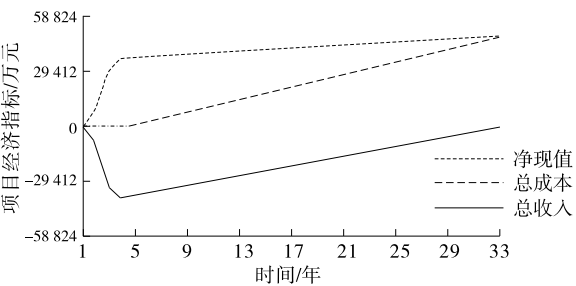


图 3 项目净现值曲线

5 结语

PPP 模式在中国高速公路建设中的运用越来越广泛,但没有一个科学、合适的定价模型可供使用。该文基于系统动力学,考虑影响价格的所有参数,建立高速公路 PPP 项目特许权定价模型,帮助政府和私营企业对高速公路 PPP 项目特许定价达成共识,制定一个合理的定价使政府和私营企业达到双赢,促进 PPP 项目的应用及发展。

参考文献:

[1] S Thomas Ng, Jinzhu Xie, Martin Skitmore, et al. A

fuzzy simulation model for evaluating the concession items of public-private partnership schemes[J]. Automation in Construction,2007,17(1).  
[2] Xueqing Zhang. Win-win concession period determination methodology[J]. Journal of Construction Engineering and Management,2009,135(6).  
[3] Efficiency Unit. Serving the community by using the private sector: an introductory guide to public private partnerships[Z]. Hong Kong Special Administrative Region Government,2008.  
[4] 何冬梅. PPP 模式下高速公路特许经营项目的定价机制研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2014.  
[5] Gillespie D F, Robards K J, Cho S. Designing safe systems: using system dynamics to understand complexity[J]. Natural Hazards Review,2004,5(2).  
[6] Ogunlana S O, Li H, Sukhera F A. System dynamics approach to exploring performance enhancement in a construction organization[J]. Journal of Construction Engineering and Management,2003,129(5).  
[7] Forbes D, Smith S, Horner M. Tools for selecting appropriate risk management techniques in the built environment[J]. Construction Management and Economics,