

# 综合管廊 PPP 项目使用者付费与财政补贴联动调整研究

罗福周, 王冠楠

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 地下综合管廊在城市建设中的重要性随着新型城镇化的发展日益提升, 其投资建设运营模式现多采用政府与社会资本合作的 PPP 模式. 由于在 PPP 模式中需要对项目的特许期、使用者付费以及政府方的财政补贴等进行决策, 为了解决实际项目特许协议中上述因素的决策以及调整过程中缺少依据的问题, 本文综合考虑项目中各参与方的利益构建多目标规划与评价模型, 并运用系统动力学的方法模拟项目的收益净现值并分析项目的财政补贴、使用者付费、特许期之间的联动调整关系, 为综合管廊项目补贴、定价以及合理利润率和特许期的调整决策提供建议与参考.

**关键词:** 财政补贴; 使用者付费; 特许经营期; 系统动力学; 联动调整

**中图分类号:** TU9903, F283

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2019)06-0917-08

## Research on the linkage adjustment of user payment and financial subsidies for PPP project of utility tunnel

LUO Fuzhou, WANG Guannan

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** With the development of new urbanization, the importance of underground comprehensive pipeline corridor in urban construction is increasing day by day. The PPP mode of government and social capital cooperation is mostly used in its investment and construction operation mode. In order to solve the problem of lack of basis in the decision-making and adjustment process of the above factors in the actual project concession agreement, this paper synthetically considers the interests of all participants in the project, constructs a multi-objective planning and evaluation model, and uses the method of system dynamics to simulate the project. Aim To analyze the net present value of income and the linkage adjustment relationship among financial subsidy, user payment and concession period, so as to provide suggestions and references for the adjustment decision-making of comprehensive Corridor project subsidy, pricing, reasonable profit rate and concession period.

**Key words:** financial subsidy; user payment; franchise period; system dynamics; linkage adjustment

## 1 研究背景与研究现状

### 1.1 研究背景

目前我国正处在城镇化快速发展的时期, 快速增长的城市人口给城市基础设施特别是提供城市供水、供电、通讯等服务的市政管线造成了巨大的压力. 作为保障城市平稳运行的“生命线”, 城市地下综合管廊的建设日益受到重视. 根据 2016 年的城市建设统计公报, 我国的综合管廊建设还处在从一线城市向二三线城市推广建设的阶段, 综合管廊项目的总体投资较少, 人均管廊保有量水平较低. 由于目前我国城市基础设施建设资金缺口较大、投入融资渠道较为单一, 过度依赖政府财政资金的问题还

没有解决. 因此在城市地下综合管廊的建设、运营中采用政府与社会资本合作的 PPP 模式, 可以有效地解决管廊建设运营投入不足的问题. 然而在运用政府与社会资本合作推广综合管廊的建设、运营过程中又出现了许多问题: 综合管廊的盈利能力较弱, 目前普遍未实现商业化运营. 在管廊的经济利益方面现有的综合管廊 PPP 项目的收费与决策机制还不成熟, 补贴模式亦不甚完善. 而地方政府最为注重的管廊的社会与环境效益往往不为社会资本所重视. 因此在以 PPP 模式建设综合管廊的项目中往往需要政府方对负责管廊建设运营的社会资本方进行经济收益的补贴. 在综合管廊 PPP 项目中, 地方政府、社会资本、入廊管线单位三方往往就在管廊

收稿日期: 2018-11-24 修改稿日期: 2019-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(71974155)

第一作者: 罗福周(1963—), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为工程经济与管理. E-mail: Luofz@163.com

通信作者: 王冠楠(1993—), 男, 硕士生, 主要研究方向为工程经济与管理. E-mail: wgn19930620@163.com

PPP项目的使用者付费、财政补贴以及项目的特许经营期等因素,任意因素的调整变动都会影响其他因素的决策,其之间的联动调整关系是综合管廊PPP项目决策过程中需要考虑的重中之重。

## 1.2 相关理论与研究现状综述

对于PPP项目特许期、使用者付费和财政补贴方面的研究是当下PPP领域研究的热点。冯珂<sup>[1]</sup>通过对选取的1997年~2013年我国具有代表性的31个PPP项目的特许协议的动态调整情况进行调查研究,发现我国各类PPP项目的动态调整机制发展的总体趋势处在不断完善的过程之中。其中政府补贴、价格调整、收益分配越为完善、成熟的PPP项目,其总体运行状态越趋于良好,各参与方的满意程度也较高。相反,项目则容易在运营过程中出现亏损、盈利过高、利益纠纷、强制退出等损害项目效益以及某一参与方利益的情况。在PPP项目特许价格和特许期的调整方面:宋金波<sup>[2]</sup>从PPP项目风险的分担入手,以项目的净现值率为判别标准,构建了项目特许期调整模型。高华<sup>[3]</sup>以污水处理PPP项目为例,构建了长期合作过程中特许价格的动态调整模型。张璞<sup>[4]</sup>同样以污水处理PPP项目为例,将社会福利函数这一概念引入特许定价机制中。吕俊娜<sup>[5]</sup>运用博弈理论和不可逆投资模型,求出满足轨道交通PPP项目各投资方利益的特许期均衡解,即最优补贴模式。

在PPP项目的特许期和特许价格的研究方面:宋金波<sup>[6]</sup>主要关注项目的公路项目的需求量即交通量,运用逆向归纳法求出消费者高需求状态下的最优特许期与特许价格。谭志加<sup>[7]</sup>从政府方和社会资本方两个角度利用双目标规划研究了高速公路PPP项目合同容量、通行费率以及政府补贴的联合决策问题。在一般公益性PPP项目方面,Hanaoka<sup>[8]</sup>运用蒙特卡罗模拟与讨价还价博弈理论,分析了PPP项目中风险因素对于特许期以及特许价格决策的影响。Carbonara<sup>[9]</sup>考虑影响PPP项目的不确定性,从公平分摊风险的角度对特许期和特许价格进行决策。在PPP项目的财政补贴研究方面:王卓甫<sup>[10]</sup>则以公益性PPP项目为例,设计出政府方与社会资本之间的Stackelberg博弈模型,运用逆推法计算出最优特许经营期与年补贴成本。曹启龙<sup>[11]</sup>通过研究PPP项目的运营补贴中基于收益、成本和利润的三种补贴方式,分析政府视角下的最优的补贴激励模式。在综合管廊PPP项目的相关研究方面,韦海民<sup>[12]</sup>设计了一种激励管线单位入廊的定价机制。王淑英<sup>[13]</sup>运用系

统动力学分析了财政补贴等各影响因素对项目收益净现值的影响。Fan Wang<sup>[14]</sup>通过对物流基础设施PPP项目的调整进行研究,发现了项目的特许期与政府的财政补贴存在一定程度上的替代效应,并且据此设计一种满足双方利益诉求的激励机制。

## 1.3 研究现状评述

从以上的相关研究成果可以看出,现有的PPP项目的特许期、特许价格与财政补贴方面的研究多集中在完全依靠政府补贴运营的纯公益性PPP项目或实现商业运营的PPP项目,且大多也只着眼于项目的风险及定价影响因素方面。缺少对于综合管廊这种具有管线单位的使用者付费收益,但盈利能力又相对较差,需要政府部门给予一定的财政补贴的准公共性PPP项目作为主体的调整研究。在PPP项目的合理利润率决策方面,既有的研究也大多未考虑项目所在地的实际情况,而将行业无风险收益率与通货膨胀率简单地相加,缺少客观、科学的决策模型。而综合管廊PPP项目中,管线单位方支付的入廊费与日常维护建设费、政府方支付的财政补贴之间存在一定的替代效应,某一方的调整会引起另一方的变动,且此两者均会影响到综合管廊PPP项目的收益以及社会资本方合理利润的取得情况。因此需要探究项目的使用者付费与财政补贴之间的联动调整关系,完善联动调整机制,优化调整各方利益实现情况。

# 2 综合管廊PPP项目使用者付费与财政补贴联动调整模型构建

## 2.1 综合管廊PPP项目多目标规划参与主体分析

综合管廊PPP项目的使用者付费与财政补贴联动调整是一个多目标规划任务,其中主要的三个参与主体,政府方、社会资本方以及入廊管线单位方的利益诉求各不相同:地方政府由于自身财政债务方面的压力,希望管廊的使用者付费尽可能地满足管廊日常的运营成本以及社会资本的期望收益,支付给项目公司的补贴标准尽可能的低,追求的是财政补贴的最小化;项目公司在选取联动调整方案时,参与管廊建设运营的社会资本方追求的是经济利益的最大化;而各入廊管线单位作为管廊的使用方,注重的是使用者付费,即管廊特许价格尽可能低廉。由于管廊运营部门对各入廊管线单位征收的使用者付费最终会以价格的形式转嫁到使用管线服务的社会公众的身上,故入廊管线单位与社会公众的利益基本一致。因此,该项目追求的多目标规划可简单表示为

$$\begin{cases} \min P_s \\ \max W \\ \min P \end{cases}$$

其中,  $P_s$  为政府每年支付的财政补贴, 可代表政府方的利益;  $W$  为项目的净现值, 可代表社会资本的收益诉求;  $P$  为管廊向各入廊管线单位征收的使用者付费, 代表各入廊管线单位的利益。

此三方利益的优先级也不相同, 由于在目前已建成运营的综合管廊项目中, 入廊费用和日常维护建设费的收取存在一定的困难, 多由地方政府支付财政补贴, 给地方政府带来不小的财政压力, 所以综合管廊作为可以提供优质的公共服务、提升地方政府形象、拉动相关产业发展的大型市政工程, 满足政府方的支付能力维持项目的日常运营是首要的目标, 优先级最高。同时是否满足社会资本的收益需求直接关系到项目日常运维的效果以及 PPP 项目的合作能否继续, 所以社会资本的收益需求的优先级次之。综合管廊的使用功能是保障入廊管线的安全、便捷的运营与管理。虽然各入廊管线单位的盈利与支付能力存在一定的差异, 但本文将入廊管线单位视为一个整体的利益相关方, 针对不同的入廊管线分别定价不是本文研究的重点, 故将入廊管线单位的目标优先级放在最后。综上所述, 并咨询综合管廊 PPP 项目方面的研究专家, 将该项目的多目标规划权重设定为: 财政补贴权重为 0.5, 净现值权重为 0.3, 使用者付费权重为 0.2。

## 2.2 综合管廊 PPP 项目各参与主体多目标规划模型构建

在 2.1 的基础上进一步扩展, 考虑各方利益诉求与财政补贴、使用者付费和特许经营期的约束条件, 并采用 max-min 加权隶属度函数评价方法, 该多目标规划模型可表示为

$$\begin{cases} z = \max_i \min_j (f_{ij}) \\ f_{ij} = (x_{ij})^{w_i} \\ \begin{cases} x_{ij} = \frac{\max(a_{ij}) - a_{ij}}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})}, x \text{ 为成本型指标} \\ x_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_{ij})}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})}, x \text{ 为效益型指标} \end{cases} \\ s. t. \begin{cases} P_s \leq \frac{C_s \times (1+R) \times (1+r)^T}{T_1} + C_r \times (1+R) - P \\ W \geq \sum_{i=T_1}^T [P_s + P_i \times (1+R)] \times \\ \quad \frac{(1+r)^i - 1}{r(1+r)^i} - C_s - \sum_{i=T_1}^T C_{r_i} - \sum_{i=T_1}^T I_i \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} P \leq \sum_{i=T_1}^T (P_{1i} + P_{2i}) \\ \frac{P_s}{P_T} \leq 10\% \times k \\ T \geq \max\{T_0, T_{w \geq 0}\} \\ P_s, W, P \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, 财政补贴与使用者付费视为成本型指标, 项目收益净现值视为效益型指标;  $x$ 、 $f$  和  $z$  分别为该方案该指标下的隶属度函数、加权隶属度函数和最优方案指标的隶属度函数,  $w_i$  为各评价指标权重;  $C_s$  为项目建设成本,  $R$  为项目拟定年合理利润率,  $r$  为项目折现率,  $C_r$  为项目运营成本  $P_1$  和  $P_2$  分别为入廊费用与日常维护建设费用;  $T$  为特许经营期,  $T_1$  为项目的运营期,  $T_0$  为社会资本偿清银行贷款的年限, 而  $T_{w \geq 0}$  为在该合理利润率与补贴水平下, 项目的收益净现值取得非负的最小年限。  $P_T$  项目所在地当年公共预算支出, 一般认为政府方对 PPP 项目支付的财政补贴不宜超过其 10%。

## 2.3 综合管廊 PPP 项目收益系统动力学模型构建

由于综合管廊项目的经营模式具有一定的特殊性, 即为管线单位提供入廊服务并向其征收固定费用。项目的产出难以用单位计量, 且使用者付费和产出的服务之间难以构建量化关系, 在现实中多采用固定的年使用者付费和年财政补贴相结合的回报模式。PPP 项目财政补贴的计算公式, 项目每年的财政补贴为社会资本方承担的年均建设成本、运营维护成本和合理利润, 扣除使用者付费。

由综合管廊 PPP 项目收益各影响因素之间相互作用关系, 通过 Vensim PLE 软件绘制因果关系图如图 1 所示。在因果关系图的基础之上, 考虑财政补贴的影响因素, 绘制综合管廊 PPP 项目的存量流量图, 如图 2 所示。该图在反映各因素之间变动的逻辑关系的基础上进而体现内部作用与反馈过程。可以通过给参数输入、编辑公式、建立函数关系等方式实现定量计算。

## 3 实证分析

### 3.1 项目概述

D 市的地下综合管廊项目干支线总长度为 4.08 km, 该项目拟采用 BOT 模式运作, 项目合作期预计为 15~35 a, 其中建设期预计为 2 a。据财务测算, 该项目的收益不足以满足社会资本方的合理利润, 故政府方会在运营期开始第一年对社会资本方采用财政补贴的模式。本项目的经济参数如表 1 所示:

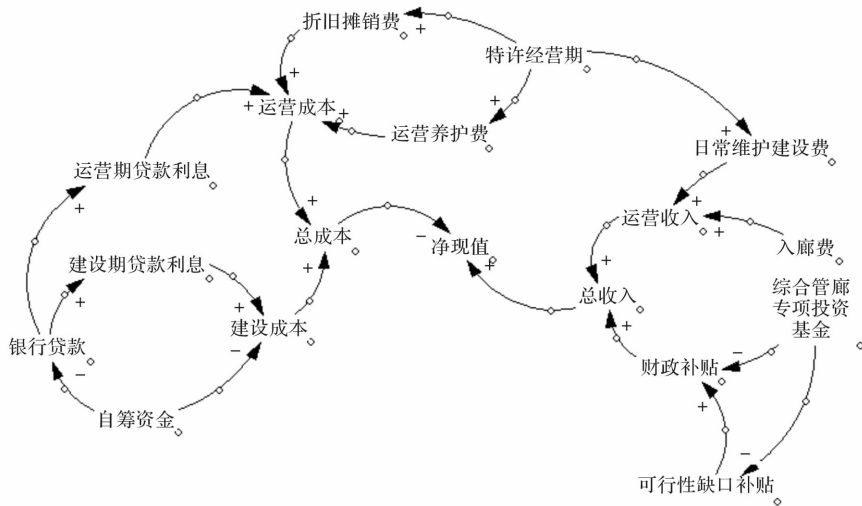


图 1 综合管廊 PPP 项目收益系统动力学因果关系图

Fig. 1 Revenue system dynamics for PPP project of utility tunnel

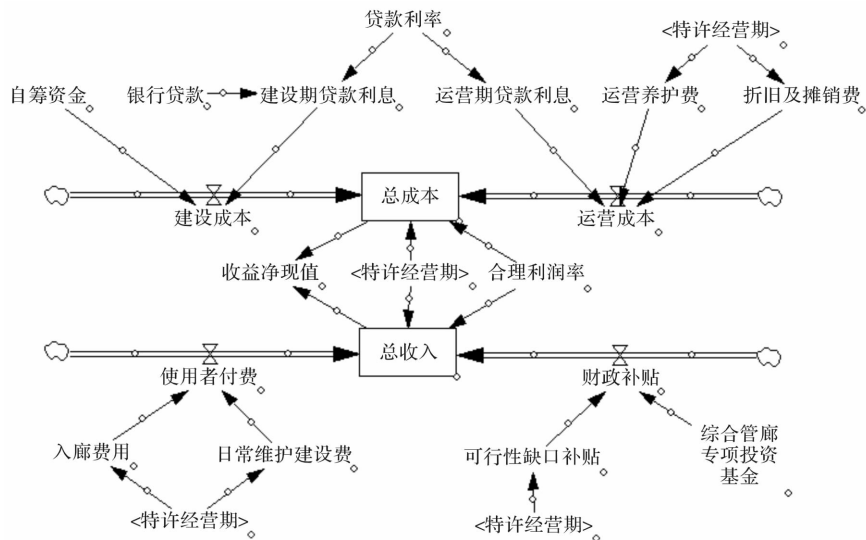


图 2 综合管廊 PPP 项目收益系统动力学模拟存量流量图

Fig. 2 Inventory flow chart of revenue system dynamics simulation for PPP project of utility tunnel

表 1 D 市综合管廊 PPP 项目概况表

Tab. 1 PPP project of D city comprehensive utility tunnel

参数名称	参数数据		
1. 动态总投资/万元	44 483.73		
1.1 建设投资/万元	自有 资金	银行 贷款	建设期 利息
第一年	2 814.56	20 000	690
第二年	5 566.17	13 519	1 894
2. 运营成本/(万元·a <sup>-1</sup> )	2 040		
3. 使用者付费/(万元·a <sup>-1</sup> )	3 593		
3.1 入廊费用	2 018		
3.2 维护费/(万元·a <sup>-1</sup> )	1 575		
4. 拟定折现率/%	5.5		
5. 拟定特许经营期/a	25		

### 3.2 项目的合理利润率预测

合理利润率对于 PPP 项目的使用者付费与财政补贴的联动调整至关重要。由于使用者付费的主动调整会影响到政府方支付的可行性缺口补贴，因此可以通过合理利润率的调整来实现对占可行性缺口补贴中绝大部分的可用性付费的主动调整，进而影响到社会资本方的经济收益与入廊管线单位方的支付水平。在现实的 PPP 项目中，项目所在地的经济发展水平、居民消费水平等因素都会对 PPP 项目的年合理利润率决策产生影响。本文根据项目所在地的统计年鉴以及统计公报，选取项目所在地 D 市 2010 年至 2017 年的居民消费价格指数、地方公共财政预算支出、全年全社会固定资产投资等 8 个影响 PPP 项目年合理利润率的

因素来进行决策，各因素的取值如表 2 所示。同时为了避免主观的打分法会影响预测的客观性与准确性，本文选择 BP 神经网络的方法进行模拟预测，运用 Matlab 软件进行模拟计算，则年合理利润率预测值为 7.25%，具体代码为：

```
>> ? P=[5.85 6.1 6.65 6.4 6 5.25 4.9
4.9; 231.5 269.46 285.4 307 330 352.7 381.27
419.77; 104.4 109.8 113.7 116.5 118.7 120.7
123.5 125.2; 14 302 16 079 18 056 19 978 21 836
23 014 24 654 26 774; 25 31.34 40.7 46.5 51.15
62.41 64.43 70.2; 5 6.2 7.4 9.3 11.1 12.78 13.1
14.6; 30 43.5 46.1 58.3 61 64.75 68.3 71.94;
127.9 145.56 182.7 224.9 260.1 280.74 326.3
360.9];
? T=[7.55 7.99 8.16 8.1 7.89 7.13 7.02];
? [p1, minp, maxp, t1, mint, maxt] =
premnmx(P, T);
```

```
? net = newff(minmax(P), [8, 6, 1], {'
tansig', 'tansig', 'purelin'}, 'trainlm');
? net.trainParam.epochs=5 000;
? net.trainParam.goal=0.000 000 1;
? [net, tr]=train(net, p1, t1);
TRAINLM, Epoch 0/5000, MSE 0.533351/
1e-007, Gradient 18.9079/1e-010
TRAINLM, Epoch24/5000, MSE 8.81926e-
008/1e-007, Gradient 0.002 292 2/1e-010
TRAINLM, Performance goal met.
? a=[4.9; 419.77; 125.2; 26774; 70.2;
14.6; 71.94; 360.9];
? a=premnmx(a);
? b=sim(net, a);
? c=postmnmx(b, mint, maxt);
? c
c=7.250 096 32.
```

表 2 D 市 PPP 项目年合理利润率影响因素及取值表

Tab. 2 The influencing factors and value of rational profit rate of PPP project of D city

因素 代码	因素名称	年份							
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
X1	五年以上商业贷款利率/%	6.27	6.82	6.68	6.55	6.15	5.40	4.90	4.90
X2	D 市年国内生产总值/亿元	231.5	269.5	285.4	307	330	352.7	381.3	419.8
X3	D 市居民消费价格指数	104.4	109.8	113.7	116.5	118.7	120.7	123.5	125.2
X4	D 市城镇居民年人均可支配收入/元	14 302	16 079	18 056	19 978	21 836	23 014	24 654	26 774
X5	D 市地方公共财政预算支出/亿元	25	31.34	40.7	46.5	51.15	62.41	64.43	70.2
X6	D 市地方公共财政预算收入/亿元	5	6.2	7.4	9.3	11.1	12.78	13.1	14.6
X7	D 市城市地区年常住人口/万人	30	43.5	46.1	58.3	61	64.75	68.3	71.94
X8	D 市全年全社会固定资产投资/亿元	127.9	145.6	182.7	224.9	260.1	280.7	326.3	360.9
Y	D 市市政 PPP 项目年合理利润率均值/%	7.55	8.00	8.15	8.10	7.90	7.20	7.00	预测值

3.3 项目初始方案模拟计算

运用 Vensim DSS 软件对该项目初始方案的收益净现值进行模拟，模拟结果如图 3 所示：

由模拟结果可知此项目初始方案的动态投资回收期约为 20.76 年，此时的年均财政补贴金额为 4 038 万元，在 25 年的特许期年内的净现值为 11 200 万元，经计算此方案的实际利润率为 10.1%。这说明社会资本方所获得的经济收益显然高于合理水平，这也会损害到政府方、入廊管线单位方以及社会公众的利益，不利于项目多目标规划的的实现。由于在综合管廊 PPP 项目的系统动力学模型中使用使用者付费、特许期和年合理利润率等因素都会影响财政补贴，故需要对其进行联动调整，

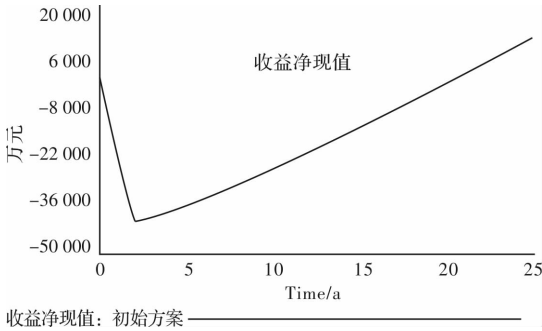


图 3 初始方案净现收益值模拟结果图

Fig. 3 Simulated result of net present income value scheme 进而求出最符合当前特许期的收益模型。

3.4 使用者付费与财政补贴联动调整分析

在进行系统动力学特许价格与财政补贴联动调

整模拟时, 根据 1.2 中构建的多目标规划目标函数与约束条件, 测算不同的使用者付费、财政补贴和

项目收益净现值在 17 到 33 年的特许期长度下的调整方案以及其对应的模拟计算结果如表 3 所示:

表 3 调整方案模拟结果表

Tab. 3 Simulation results of adjustment schemes

方案编号	特许期/a	财政补贴总额/万元	收益净现值/万元	年合理利润率/%	使用者付费总额/万元
P <sub>1</sub>	17	25 275	2 518	7.79	57 870
P <sub>2</sub>	18	27 712	3 134	7.75	58 208
P <sub>3</sub>	19	30 243	3 849	7.32	58 548
P <sub>4</sub>	20	32 868	4 263	7.10	58 896
P <sub>5</sub>	21	40 400	4 777	6.90	59 223
P <sub>6</sub>	22	38 440	5 190	6.71	59 580
P <sub>7</sub>	23	41 412	5 602	6.53	59 913
P <sub>8</sub>	24	44 506	5 913	6.36	60 258
P <sub>9</sub>	25	47 702	6 224	6.19	60 605
P <sub>10</sub>	26	51 024	6 735	6.04	60 960
P <sub>11</sub>	27	54 500	7 144	5.98	61 300
P <sub>12</sub>	28	58 100	7 554	5.75	61 646
P <sub>13</sub>	29	61 884	7 862	5.62	61 992
P <sub>14</sub>	30	65 800	8 371	5.49	62 328
P <sub>15</sub>	31	69 861	8 979	5.37	62 669
P <sub>16</sub>	32	74 130	9 486	5.25	63 030
P <sub>17</sub>	33	78 532	9 993	5.14	63 364

分别计算每个调整方案的 max-min 隶属度函数, 如在财政补贴指标下, 调整方案 P<sub>1</sub> 的隶属度为  $a_{11} = (78\ 253 - 25\ 275) / (78\ 253 - 25\ 275) = 1.000$ .

在净现值指标下, 调整方案 P<sub>1</sub> 的隶属度为  $a_{12} = (2\ 518 - 2\ 518) / (9\ 993 - 2\ 518) = 0.000$ .

在使用者付费评价指标下, 调整方案 P<sub>1</sub> 的隶

属度为  $a_{13} = (63\ 364 - 57\ 870) / (63\ 364 - 57\ 870) = 1.000$ .

根据 2.2 中构建的多目标评价方法, 与之前确定的多目标规划中的财政补贴、项目收益净现值和使用费评价指标的权重, 可得各调整方案在此三个指标下的加权隶属度函数计算结果如表 4 所示:

表 4 各调整方案加权隶属度结果表

Tab. 4 Weighted membership results of adjustment schemes

方案编号	财政补贴加权隶属度函数	项目收益净现值加权隶属度函数	使用者付费加权隶属度函数	方案编号	财政补贴加权隶属度函数	项目收益净现值加权隶属度函数	使用者付费加权隶属度函数
P <sub>1</sub>	1.000	0.000	1.000	P <sub>10</sub>	0.718	0.842	0.848
P <sub>2</sub>	0.977	0.472	0.987	P <sub>11</sub>	0.672	0.866	0.822
P <sub>3</sub>	0.952	0.596	0.974	P <sub>12</sub>	0.619	0.888	0.793
P <sub>4</sub>	0.926	0.646	0.959	P <sub>13</sub>	0.559	0.904	0.758
P <sub>5</sub>	0.951	0.698	0.945	P <sub>14</sub>	0.489	0.929	0.717
P <sub>6</sub>	0.868	0.734	0.928	P <sub>15</sub>	0.404	0.957	0.662
P <sub>7</sub>	0.835	0.767	0.911	P <sub>16</sub>	0.288	0.979	0.572
P <sub>8</sub>	0.799	0.789	0.892	P <sub>17</sub>	0.000	1.000	0.000
P <sub>9</sub>	0.761	0.810	0.871				

$$\begin{aligned}
 z^* &= \max_{1 \leq i \leq 17} \min_{1 \leq j \leq 3} [(f_{ij})] \\
 &= \max_{1 \leq i \leq 17} \min_{1 \leq j \leq 3} \left\{ \begin{array}{cccccccccccccccccccc} 1.000 & 0.986 & 0.971 & 0.955 & 0.970 & 0.918 & 0.897 & 0.874 & 0.849 & 0.820 & 0.788 & 0.750 & 0.705 & 0.651 & 0.580 & 0.473 & 0.000 \\ 0.000 & 0.607 & 0.708 & 0.748 & 0.787 & 0.814 & 0.838 & 0.854 & 0.869 & 0.892 & 0.908 & 0.924 & 0.935 & 0.952 & 0.971 & 0.986 & 1.000 \\ 1.000 & 0.969 & 0.936 & 0.902 & 0.868 & 0.830 & 0.793 & 0.752 & 0.709 & 0.661 & 0.613 & 0.559 & 0.500 & 0.434 & 0.356 & 0.247 & 0.000 \end{array} \right\} \\
 &= \max_{1 \leq i \leq 17} \{0.000 \quad 0.607 \quad 0.708 \quad 0.748 \quad 0.787 \quad 0.814 \quad 0.793 \quad 0.752 \quad 0.709 \quad 0.661 \quad 0.613 \quad 0.559 \quad 0.500 \quad 0.434 \quad 0.356 \quad 0.247 \quad 0.000\} \\
 &= 0.814
 \end{aligned}$$

根据 2.2 中多目标规划模型的目标函数计算可得, 调整方案 P<sub>6</sub> 为该评价体系下的最优调整方案. 此时项目在 22 年的特许期内的净现值为 5 190 万元, 财政补贴总额为 38 440 万元, 使用者付费总额为 59 580 万元. 对比最优调整方案 P<sub>6</sub> 与初始方案的收益净现值、财政补贴和使用者付费结果如图 4、图 5 和图 6 所示:

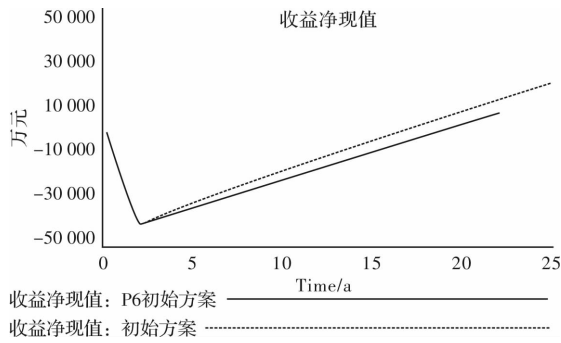


图 4 项目收益净现值模拟结果对比图

Fig. 4 Comparing results of NPV simulation of project income

变量	计算	最小	最大	平均	中值	标准偏差	(正态)
财政补贴 对于 Time (年) 从 0 到 25 运行:							
P6 调整方案	23	0	5 135	2 135	1 887	1 529	7161
初始方案	26	0	7 518	4 038	3 884	1 910	473

图 5 项目财政补贴模拟结果对比图

Fig. 5 Comparing results of simulation of financial subsidies

变量	计算	最小	最大	平均	中值	标准偏差	(正态)
使用者付费 对于 Time (年) 从 0 到 25 运行:							
P6 调整方案	23	0	2 979	2 720	2 979	839.4	3086
初始方案	26	0	4 193	3 870	4 193	1 117	2887

图 6 项目使用者付费模拟结果对比图

Fig. 6 Comparing results of simulation of user payment

### 3.5 实证分析结果

由以上三图可知, 相较于初始方案, 调整方案 P<sub>6</sub> 的年均财政补贴与年均使用者付费分别减少了 1 218 万元与 614 万元, 而项目的收益净现值减少至 5 190 万元, 经计算此方案下社会资本方的年合理利润率为 6.71%, 略低于预测水平. 但是此调整方案的特许经营期为 22 年, 较短的特许期长度也使得社会大众的利益得到一定程度的保障, 缓解了地方政府与管线单位的支付压力, 有利于综合管廊作为准公益性公共基础设施的社会效益的实现. 故此调整方案对于实际项目的操作有一定的指导意义.

## 4 政策建议

### 4.1 制定合理的特许经营期与合理利润率

特许期和合理利润率对于项目净现值与财政补贴的影响是巨大的, 决定了项目财务评价与可行性研究的结果. 从本研究结果来看制定合理的特许经营期与合理利润率不仅可以增加社会资本方的收益使其获得期望的利润, 而且还可以减少每年政府方支付的财政补贴与入廊管线单位支付的使用者付费.

### 4.2 完善入廊费用和可行性缺口补贴的调整机制

在实际综合管廊 PPP 项目中, 入廊费用与可行性缺口补贴分别占据了使用者付费与财政补贴的大部分. 由于综合管廊主体建筑的设计使用寿命较长, 往往可达到五十年甚至一百年, 所以在特许期内会出现不确定性因素影响项目的正常运营收益. 而项目的特许期和合理利润率一经确定不易进行调整, 故可在特许运营期内根据实际情况对使用者付费、财政补贴等进行调整以满足项目各利益相关方的要求.

## 参考文献 References

- [1] 冯珂, 王守清, 伍迪, 等. 基于案例的中国 PPP 项目特许协议动态调节措施的研究[J]. 工程管理学报, 2015(3): 88-93.  
FENG Ke, WANG Shouqing, WU Di, et al. Case-based study on dynamic adjustment measures of China's PPP project concession agreement [J]. Journal of Engineering Management, 2015 (3): 88-93.
- [2] 宋金波, 宋丹荣, 富怡雯, 等. 基于风险分担的基础设施 BOT 项目特许期调整模型[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(6): 1270-1277.  
SONG Jinbo, SONG Danrong, FU Yiwen, et al. Concession period adjustment model of infrastructure BOT project based on risk sharing [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2012, 32 (6): 1270-1277.
- [3] 高华, 孙赵航天, 程风华. 污水处理 PPP 项目价格形成与动态调整机制研究[J]. 价格理论与实践, 2016 (11): 130-133.  
GAO Hua, SUN Zhaoxing, CHENG Fenghua. Study

- on price formation and dynamic adjustment mechanism of PPP project for sewage treatment [J]. *Price Theory and Practice*, 2016 (11): 130-133.
- [4] 张璞,王丽萍,兰丹,等. 污水处理 PPP 项目定价机制研究[J]. *价格理论与实践*, 2017(2):153-156.  
ZHANG Pu, WANG Liping, LAN Dan, et al. Study on pricing mechanism of sewage treatment PPP project [J]. *Price Theory and Practice*, 2017 (2): 153-156.
- [5] 吕俊娜,刘伟,邹庆,等. 轨道交通 SBOT 项目特许经营的合作博弈模型研究[J]. *管理工程学报*, 2016, 30 (3):209-215.  
LV Junna, LIU Wei, ZOU Qing, et al. Research on cooperative game model of concession period for SBOT project of rail transit [J]. *Journal of Management Engineering*, 2016, 30 (3): 209-215.
- [6] 宋金波,靳璐璐,付亚楠. 高需求状态下交通 BOT 项目特许决策模型[J]. *管理评论*, 2016, 28(5):199-205.  
SONG Jinbo, JIN Lulu, FU Yanan. Decision-making model of BOT project concession under high demand [J]. *Management Review*, 2016, 28(5):199-205.
- [7] 谭志加,杨海,陈琼. 收费公路项目 Pareto 有效 BOT 合同与政府补贴[J]. *管理科学学报*, 2013, 16(3):10-20.  
TAN Zhijia, YANG Hai, CHEN Qiong. Pareto effective BOT contract and government subsidy for toll highway project [J]. *Journal of Management Science*, 2013, 16 (3): 10-20.
- [8] HANAOKA S, PALAPUS H P. Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines[J]. *International Journal of Project Management*, 2012, 30(8):938-949.
- [9] CARBONARA N, COSTANTINO N, PELLEGRINO R. Concession period for PPPs: a win-win model for a fair risk sharing[J]. *International Journal of Project Management*, 2014, 32(7):1223-1232.
- [10] 王卓甫,侯嫚嫚,丁继勇. 公益性 PPP 项目特许期与政府补贴机制设计[J]. *科技管理研究*, 2017, 37(18): 194-201.  
WANG Zhuofu, HOU Manman, DING Jiyong. Concession period of public welfare PPP project and design of government subsidy mechanism [J]. *Science and Technology Management Research*, 2017, 37 (18): 194-201.
- [11] 曹启龙,盛昭瀚,周晶. 激励视角下 PPP 项目补贴方式研究[J]. *科技管理研究*, 2016, 36(14):228-233.  
CAO Qilong, SHENG Zhaohan, ZHOU Jing. Research on PPP project subsidies from the perspective of incentive [J]. *Science and Technology Management Research*, 2016, 36 (14): 228-233.
- [12] 韦海民,刘武岩. PPP 模式下地下综合管廊入廊定价激励机制研究[J]. *地下空间与工程学报*, 2018, 14(3): 585-594.  
WEI Haimin, LIU Wuyan. Study on incentive mechanism of gallery pricing for underground comprehensive pipeline corridor under PPP mode [J]. *Journal of Underground Space and Engineering*, 2018, 14(3): 585-594.
- [13] 王淑英,晋雅芳. 城市地下综合管廊 PPP 项目收益研究:基于系统动力学方法的分析[J]. *价格理论与实践*, 2017(5):143-146.  
WANG Shuying, JIN Yafang. Research on PPP project income of urban underground integrated pipeline gallery: analysis based on system dynamics method [J]. *Price Theory and Practice*, 2017 (5): 143-146.
- [14] WANG Fan, XIONG Minghua, NIU Baozhang, et al. Impact of government subsidy on BOT contract design: Price, demand, and concession period [J]. *Transportation Research (Part B): Methodological*, 2018, 110:137-159.

(编辑 吴海西 桂智刚)

(上接第 908 页)

- [10] LEIKIN S, PARSEGAN V A, RAU D C, et al. Hydration forces[J]. *Annual Review of Physical Chemistry*, 1993, 44: 369-395.
- [11] WANG Q Jane, CHUNG Yip-wah. *Encyclopedia of Tribology*[M]. Boston, MA:Springer, 2013.
- [12] DHOPATKAR N, DEFANTE A P, DHINOJWALA A. Ice-like water supports hydration forces and eases sliding friction[J]. *Science Advances*, 2016, 2(8): 1-9.
- [13] ISRAELACHVILI J N, PASHLEY R M. Molecular layering of water at surfaces and origin of repulsive hydration forces[J]. *Nature*, 1983, 306: 249-250.
- [14] ISRAELACHVILI J N, MCGUIGGAN P M. Forces between surfaces in liquids[J]. *Science*, 1988, 241: 795-800.
- [15] MORROW C A, MOORE D E, LOCKNER D A. Frictional strength of wet and dry montmorillonite[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2017, 122(5): 3392-3409.

(编辑 吴海西 桂智刚)