

PPP模式下北京农村污水处理项目的定价研究

王 爽

北方工业大学经济管理学院, 北京

收稿日期: 2022年12月12日; 录用日期: 2023年2月24日; 发布日期: 2023年3月3日

摘要

通过文献梳理, 归纳出17个影响北京农村污水处理PPP项目定价的因素, 利用解释结构模型建立层级关系, 并构建基于多目标规划的北京农村污水处理项目的初始定价模型。以北京市某农村污水处理项目为例, 应用模型并计算该项目初始定价, 为PPP模式下北京农村污水处理项目的初始定价提供一定的理论依据和参考。

关键词

北京农村污水, 定价策略, PPP模式, 解释结构模型, 多目标规划

Research on Pricing of Rural Wastewater Treatment Projects in Beijing under PPP Model

Shuang Wang

School of Economics and Management, North China University of Technology, Beijing

Received: Dec. 12th, 2022; accepted: Feb. 24th, 2023; published: Mar. 3rd, 2023

Abstract

Through literature combing, 17 factors affecting the pricing of Beijing rural wastewater treatment PPP projects are summarized, hierarchical relationships are established using an explanatory structural model, and an initial pricing model for Beijing rural wastewater treatment projects based on multi-objective planning is constructed. Taking a rural wastewater treatment project in Beijing as an example, the model is applied and the initial pricing of the project is calculated to provide some theoretical basis and reference for the initial pricing of rural wastewater treatment projects in Beijing under the PPP model.

Keywords

Beijing Rural Wastewater, Pricing Strategy, PPP Model, Explanatory Structural Model, Multi-Objective Planning

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

PPP 模式下农村污水处理项目的收费定价是项目成功应用开展的关键因素之一。目前北京污水处理费用并不由项目公司向村民直接征收，而是纳入自来水费一并由政府代为征收。项目合同签订确定污水处理费用时，通常只考虑政府和社会资本签订双方的利益，忽略了农村居民的利益，往往会导致污水处理费计算不科学、不合理。实际上，农村污水处理费受多种因素的影响和制约，需要考虑政府、社会资本和村民三者共同的目标需求。但各方利益需求相互制约甚至矛盾，因此需要从多个目标和约束条件全面考量农村污水处理 PPP 项目的定价决策问题。对此，本文以北京农村污水处理 PPP 项目初始定价为研究对象，建立基于 ISM-MOP 的污水处理 PPP 项目定价决策模型，以满足各个参与方的需求。

2. 定价影响因素解释结构模型构建

农村污水处理项目投资额大、服务周期长，污水处理费用定价影响因素多而复杂，简单的分类无法分辨影响污水处理费的直接因素和间接因素，为了理清各个因素间的相互影响关系及层次，可以利用解释结构模型把复杂的影响因素系统划分成一个层次分明、关系明确的多级递阶系统结构模型[1]。

2.1. 北京农村污水处理 PPP 项目定价影响因素识别

结合北京农村污水处理项目的特点及生产要素和相关文献，从政府方，社会资本方，村民用户，项目自身和外部环境这几个方面对污水处理项目定价的影响因素梳理归纳，整理出 17 个农村污水处理项目的定价影响因素，如图 1 所示。

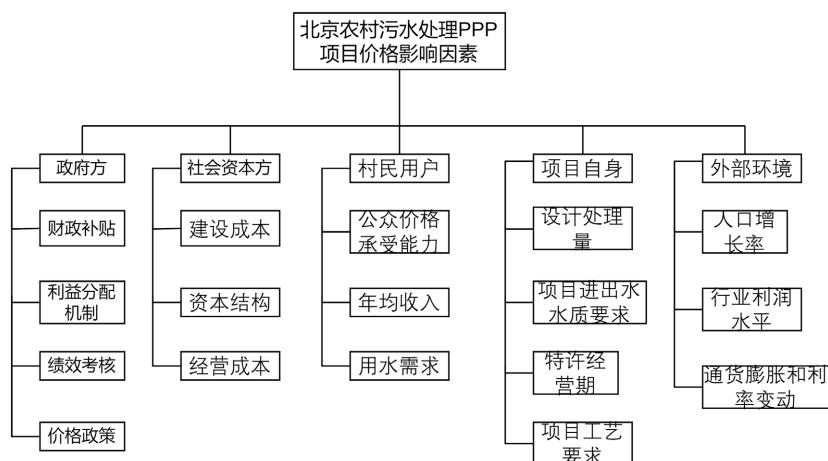


Figure 1. Price influencing factors of rural wastewater treatment PPP projects in Beijing

图 1. 北京农村污水处理 PPP 项目价格影响因素

2.2. 北京农村污水处理 PPP 项目定价因素解释结构模型构建

根据解释结构模型的基本原理, 以图 1 中各因素为构成元素, 建立污水处理定价影响因素结构化模型如图 2 所示, 农村污水处理费受到特许经营期, 经营成本, 建设成本和政府补贴的直接影响。其中经营成本受到通货膨胀及利率和资本结构的影响, 政府补贴又受到绩效考核的影响, 其他各层次影响关系与之类似, 不再赘述。

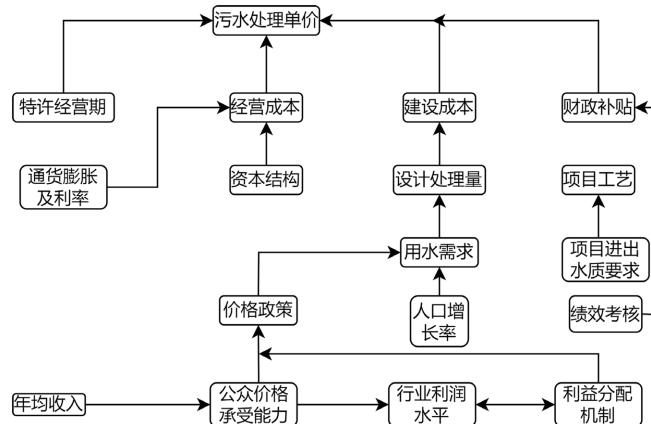


Figure 2. Structural model to explain the factors influencing project pricing
图 2. 项目定价影响因素解释结构模型

3. 定价模型构建

污水处理定价影响因素的解释结构模型结构清晰, 有助于构建基于三方满意的污水处理定价模型。由图 2 可知: 第一层影响因素主要是政府方和社会资本方的建设投入, 与社会资本方收益最大化的目标息息相关, 而第二, 三, 四, 五层是污水处理费用的间接影响因素, 会影响社会资本方的目标实现。因此, 第一层相关影响因素可以作为社会资本方和政府方实现效益最大化目标的重要参数, 而二、三、四、五层中关于目标实现的相关因素, 可以作为约束条件反映于规划模型中。

3.1. 目标函数构建

1) 社会资本收益最大化目标函数构建

社会资本方是农村污水处理服务的提供者, 其根本目标是在政府允许范围内获取最大利润。目前北京农村污水处理 PPP 项目的收入来源于向政府出售污水处理服务, 其收益取决于项目合同签订中与政府确定的排水服务结算价格 P (元/吨), 政府的财政补贴 S (万元/年) 和项目年成本 C (万元/年)。其中年成本由建设成本 C_1 的年分摊值和运营成本 C_2 两部分构成, 表示为:

$$C = C_1 k + C_2 Q \quad (1)$$

式(1)中, Q 为项目每年处理污水量, k 为折现系数, $k = i_c / (1 - (1 + i_c)^{-n})$, n 为特许经营期。则社会资本方投资收益最大化的年目标利润可以表示为式(2):

$$\max PS = PQ + S - kC_1 - C_2 Q \quad (2)$$

2) 村民有偿使用费最小化目标函数构建

农村居民作为农村污水处理的消费者, 所缴纳的污水处理有偿使用费越小, 村民安装水表的积极性将越高。为了鼓励农村居民积极安装水表和保证污水处理项目缴费工作顺利实施, 村民愿意支付的有偿使用费 P_1 减去其实际有偿使用费 P_0 的差额应最大。基于以上分析, 村民有偿使用费最小化的年目标函

数可表示为式(3):

$$\max CS = Q \times (P_1 - P_0) \quad (3)$$

农村污水处理量借鉴双对数用水需求函数, 如式(4)。

$$Q = \lambda \times N \times Q_0 = \lambda \times N \times P_0^{E_1} \times I^{E_2} \quad (4)$$

式(4)中, λ 为常数, 表示污水处理厂设计处理能力与需求比值, N 是研究区域人口, E_1 是价格弹性, E_2 是收入弹性, I 是年人均可支配收入。相对村民的年人均收入, 村民愿意支付的污水处理费用占比应该在合理的区间, 基于此, 将消费者意愿支付价格 P_1 用式(5)表示为:

$$P_1 = rI/Q_0 \quad (5)$$

其中: r 为居民意愿支付的污水处理费支出占人均可支配收入的比例; Q_0 为人均污水产生量。

3) 政府社会效益最大化目标函数

农村污水处理 PPP 项目是外部效应和公益性较强的准公共产品。政府是社会服务提供方, 期望社会效益 SR 达到最大。根据公共经济学的相关原理, 消费者剩余、生产者剩余和项目负外部效应共同组成了公共产品的社会效益[2]。其中, 负外部效应 E 是指交易带来的但未在价格中体现的成本。例如污水处理过程中可能会长期散发的臭味, 相关药剂对项目人员的危害。除此之外, 现阶段北京大多数农村污水处理 PPP 项目都需要政府的财政补贴, 会减少公共财政资金, 造成社会福利损失。设 μ ($\mu \geq 1$) 为政府财政资金的边际成本系数, 由此造成的年社会成本为式(6):

$$C_{SR} = \mu \times S \quad (6)$$

综上所述, 政府社会效益最大化的年目标函数为式(7):

$$\max SR = PS + CS - C_{SR} - E \quad (7)$$

3.2. 约束条件构建

以上确定了三方的定价目标函数, 目标函数均需在一定的约束条件下成立, 以下将分别构建三方目标函数成立的约束条件。

1) 社会资本方投资收益约束

在农村污水处理 PPP 项目中, 投资回报率(ROI)主要是指社会资本方运营净收益与其总成本的比值, 关系着社会资本方的利润水平, 需要进行适当约束[3]。一方面, 投资回报率应不低于合理收益以鼓励企业积极参与农村污水处理项目的建设和运营, 另一方面, 投资回报率不能高于一定的利润上限, 确保项目的公益性及费用征收的落实。因此, 项目投资回报率应当保持在合理范围之内。设 R_{\min} 和 R_{\max} 分别为投资回报率的上限和下限, 那么 PPP 项目的投资回报率的约束条件可以用式(9)表示。

$$ROI = (PQ + S - C_1k - C_2Q) / TI \quad (8)$$

$$R_{\min} < ROI < R_{\max} \quad (9)$$

式(9)中: TI 为污水处理厂总投资(包含建筑投资)。

同时, 净现值(NPV)是反映 PPP 项目可行性的重要指标, 当项目净现值大于零时, 项目时可行的。净现值计算公式可以用式(10)表示如下。

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{P_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

N 是项目实施周期, P_t 是 t 年产生的收入现金净流量, C_t 是 PPP 模式下项目在 t 年产生的成本现金流, r 是项目的无风险资本成本率。根据净现值大于零, 可以推出约束条件式(11)如下所示:

$$(P - C_2) \times \lambda \times N \times P_0^{E_1} \times I^{E_2} + S - kC_1 \geq kC_1 - D \quad (11)$$

其中, D 为项目固定资产每年折旧金额。

2) 政府财政补贴约束

农村污水处理 PPP 项目具有较强公益性, 不仅村民作为直接使用和受益方需要付费, 政府作为社会公众利益的代表, 也应承担部分成本。但政府财政资金有限, 财政补贴要考虑政府的财政承受能力, 因此, 政府的财政补贴约束为:

$$0 < S < S^* \quad (12)$$

式(12)中, S^* 为政府年财政补贴的承受上限, 根据财政部印发的《政府和社会资本合作项目财政承受能力论证指引》相关规定, 财政补贴不应超过公共预算支出的 10% [4]。此外, 运营补贴支出应当根据项目建设运营成本及利润水平确定, 计算公式为:

$$\begin{aligned} & \text{当年运营补贴支出数额} \\ &= \frac{\text{项目全部建设成本} \times (1 + \text{合理利润率}) \times (1 + \text{年度折现率})^n}{\text{财政运营补贴周期(年)}} \\ &+ \text{年度运营成本} \times (1 + \text{合理利润率}) - \text{当年使用者付费} \end{aligned} \quad (13)$$

3) 政府对价格的限制

公共项目产品和服务价格通常会设置上下限, 假设价格上限、价格下限分别用 P_{\min} 和 P_{\max} 来表示, 根据发改价格[2015]119号规定, 2016年底前, 县城、重点建制镇原则每吨应调整至居民不低于 0.85 元, 非居民不低于 1.2 元[5]。同时, 与政府签订的排水服务结算价格 P 不应使项目获取超投资回报率上限的收益, 即:

$$P_{\min} = 0.85 \quad (14)$$

$$P_{\max} = C_2 \times (1 + R_{\max}) \quad (15)$$

综上, 政府的限价约束条件可用式(16)表示:

$$0.85 \leq P_0 \leq C_2 \times (1 + R_{\max}) \quad (16)$$

本文采用“效用最优化模型”的方法对多目标规划模型标准化处理, 将各方目标函数进行权重加权。考虑到农村污水处理项目的公益性和和正外部性, 项目利益相关方的定价目标优先级次序为政府社会效益最大化目标、村民保留效用最大化目标、社会资本方预期利润最大化目标, 设各方目标函数的权重系数分别为 α_1 、 α_2 和 α_3 , 则其取值满足 $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$, 因此, 经标准化处理后模型形式如下:

$$\begin{cases} \max U = \max (\alpha_1 SR + \alpha_2 CS + \alpha_3 PS) \\ \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \end{cases} \quad (17)$$

为了便于后续模型计算与分析, 保持模型的一般性, 对上述污水处理定价的多目标规划模型简化形式如下:

$$\begin{aligned} \max U &= (\alpha_1 + \alpha_3)(PQ + S - C_1 k - C_2 Q) + (\alpha_1 + \alpha_2)(Q \times (P_1 - P_0)) \\ &+ \alpha_1 (PQ + S - C_1 k - C_2 Q + Q \times (P_1 - P_0) - C_{SR} - E) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & \begin{cases} R_{\min} \leq (PQ + S - C_1 k - C_2 Q) / TI \leq R_{\max} \\ 0 < S < S^* \\ 0.85 \leq P_0 \leq C_2 \times (1 + R_{\max}) \end{cases} \end{aligned}$$

4. 模型应用

北京市房山区某污水处理 PPP 项目是北京市重点农村污水治理工程之一, 处理规模总计为 $17,035 \text{ m}^3/\text{d}$, 以 BOT (建设 - 运营 - 移交) 方式运营, 合作期 25 年, 其中建设期 3 年。

投资总额 33547.38 万元, 其中资本金 11790.23 万元, 银行贷款为 23483.17 万元, 项目固定资产每年折旧为 1603.34 万元。

根据该项目实施报告, 其污染物排放指标符合《污水排入城镇下水道水质标准》一级 A 级标准, 对环境的影响较小, 所以模型中的负外部效可不予计量, 即 $E = 0$ 。由于农村污水处理项目需要政府财政补贴, 而政府公共财政资金征收会产生一定的社会成本, 学者认为我国政府公共财政资金的边际成本系数 $\mu \in [1.21, 1.45]$, 本文研究中政府财政补贴资金的边际成本系数取 1.21。运用 SPSS 软件对 2006~2020 年该地区人均年用水量、水价和人均可支配收入和用水需求量进行回归分析, 该地区用水需求的价格弹性 $E_1 = -1.392$, 收入弹性 $E_2 = 0.587$ 。该项目运营时间长, 社会效益显著但经济收益少, 结合《建设项目经济评价方法与参数(第三版)》的相关说明, 折现率应取值 6% ($k = 6\%$)。项目融资结构分别是债权资本和权益资金, 合理的投资回报率应高于税后债务资本成本 4.5%, 低于其加权平均资本成本的最大值 11.2%。

社会资本方、社会公众、政府方三方目标函数所占权重分别取 0.2、0.3 和 0.5, 即 $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.3$, $\alpha_3 = 0.2$; 2020 年该污水处理项目覆盖乡镇人口约为 20 万人, 村民居民人均可支配收入为 30126 元, 单位污水运营成本 3.91 元 / 吨, 居民能接受的人均污水处理费支出占可支配收入比例 r 应为 1%~3%, 基于此, 将 r 取 1%, $\lambda = 0.6799$ 。上述参数整理后带入定价模型中, 具体表示如下:

$$\begin{aligned} \max U = & 0.7(PQ - 3.91Q + S - 2785.96) + 0.8(P_1 - P_0)Q \\ & + 0.5(PQ - 3.91Q + S - 2785.96 + (P_1 - P_0)Q - 1.21S) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} 4.5\% \leq (PQ - 3.91Q + S - 2785.96) / 1524.88 \leq 11.2\% \\ 0 \leq S \leq 6110.4 + (4.35 - P)Q \\ 0.85 \leq P_0 \leq 3.19 \times (1 + 11.2\%) \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

运用数学计算软件对上述构建的农村污水处理定价模型进行求解。得到该项目政府补贴最优解是 $S = 2449.6$ 万元, 合同结算价格最优解是 $P = 4.3$ 元/吨, 其中村民支付污水处理价 $P_1 = 1.4$ 元/吨, 根据该项目的实施报告, 项目中标金额水费单价是 4.26 元/吨, 运维服务付费即每年财政补贴 2785.96 万元, 与多元目标规划方程求解的最优解相近, 此外, 居民支付的污水处理费 1.4 元/吨与 2014 年发布的京发改[2018]115 号文中规定北京居民污水处理费 1.36 元/吨相比, 偏差率为 2.94%, 该初始定价具有一定的合理性与可行性。

5. 结论与启示

利用解释结构模型对影响北京农村污水处理 PPP 项目定价的多个因素进行结构分析, 在此基础上构建了基于多目标规划的农村污水处理费用初始定价模型, 将构建模型应用于北京某污水处理 PPP 项目, 计算结果表明特许期内最优初始定价方案与中标金额的误差较小, 模型具有一定的合理性和可行性, 对后续北京农村污水处理定价决策有以下两点启示:

- 1) 影响北京农村污水处理 PPP 项目价格的因素众多, 其中, 特许经营期, 经营成本, 建设成本和财政补贴是影响项目特许定价的直接因素, 为定价模型影响变量的选择提供了依据。
- 2) PPP 模式下污水处理项目定价应该考虑到政府、社会资本方、社会公众三大核心主体的利益诉求, 其定价目标分别为社会效益最大化、利润最大化和使用者成本最小化。

参考文献

- [1] 张勇, 赵挺生, 张正柱, 等. 基于 SD-MOP 耦合模型的 PPP 模式下城市污水处理费动态调整[J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(1): 55-60+66.
- [2] 周思娇. PPP 模式下污水处理服务价格调整模型与政策研究——基于最高上限价格管制理论[J]. 现代经济信息, 2018(23): 295-296+298.
- [3] 龙鑫, 刘妙彤. 农村生活污水治理 PPP 模式的机遇、挑战及对策[J]. 内江科技, 2021, 42(5): 28-29+86.
- [4] 袁飞. 城镇污水处理 BOT 项目的价格构成与运营期调价[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(1): 24-26.
- [5] 杨晓峰, 杨道明, 邵易明, 等. 污水处理 PPP 项目初始定价及动态调价机制研究[J]. 工程建设与设计, 2020(14): 231-234.