

基于成本加成的再生水阶梯定价方法研究

刘晓君¹, 韩思茹¹, 罗西²

(1. 西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西煤化工工业集团有限公司, 陕西 西安 710065)

摘 要: 再生水作为城市的第二水源,能有效缓解水资源危机。以再生水管网建设的资金回收为前提条件,运用成本加成的方法,确定用户使用再生水的成本价格与需求量、输水距离之间的函数关系,并根据用户与水厂之间的距离划分不同的用户群;进而针对用户群内用户需求量的差异,采用阶梯定价的方法对再生水的价格制定进行研究,建立了基于再生水用户需水量、输水距离等因素的复合阶梯定价模型。最后,以西安市第二污水处理厂为例,运用模型计算其用户-西郊热电厂的再生水使用价格,验证了此定价模型的准确性与实用性,为再生水价格市场化发展提供了理论依据。

关键词: 再生水; 定价; 成本加成法; 阶梯定价法

中图分类号: TU991.61

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0029-05

Research on ladder pricing method of reclaim water based on cost - plus

LIU Xiaojun¹, HAN Siru¹, LUO Xi²

(1. College of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Shaanxi Coal Chemical Industry Group Company Limited, Xi'an 710065, China)

Abstract: Reclaimed water is the second water source of city and can effectively alleviate the water crisis. Taking that the funds of reclaimed water network construction should be recovered as the premise, the paper used the method of cost - plus to determine the functional relation between cost price, demand and transportation distance of reclaimed water used by users. The users are divided into different groups according to the distance between users and water plant. According to the demand diversity in different users, it took to price reclaimed water and set up a complex tiered pricing method based on water requirement of reclaimed water and the distance of conveyance. Finally, taking the second sewage treatment plant in Xi'an for example, the paper used model to calculate the water price of user - western suburbs power plant of Xi'an, and verified the accuracy and usefulness of pricing model. The result can provide a theoretical basis for the development of market of recycled water price.

Key words: reclaimed water; pricing; cost plus method; ladder pricing method

1 研究背景

随着我国经济飞速发展、城市化进程加快,各地区城市供水范围也随之不断扩大,水资源的缺乏程度日趋严重。据有关统计数据显示,在我国的669个城市中,有近400个城市存在常年供水不足的问题,尤其是我国的西北地区,水资源短缺已经严重制

约着经济和社会的可持续性发展。西安市作为丝绸之路经济带的起点,人均水资源占有量为 277 m^3 ,远低于地区经济和社会发展所必须的人均 $1\ 000\text{ m}^3$ 的临界值^[1]。2013年起,西安市6个污水处理厂建设了再生水利用工程,时至2014年2月,西安市累计铺设再生水管网115 km,建设完成28个再生水取水点,供水能力达 $5\ 520\text{ m}^3/\text{d}$ 。^①但目前实际运行

收稿日期:2014-08-27; 修回日期:2014-09-24

基金项目:国家社会科学基金项目(12BGL083);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-002-004-003);教育部人文社会科学研究基金项目(11YJA790090);陕西省社科基金项目(13CS007)。

作者简介:刘晓君(1961-),女,陕西西安人,教授,博士生导师,研究方向:环境经济、投资决策理论与方法。

通讯作者:韩思茹(1990-),女,河南驻马店人,硕士,研究方向:环境经济。

的主要只有第二、第三污水处理厂,其原因主要是:再生水的成本价格较高而政府定价较低,且价格过于单一,造成市场需求量少,成本难以回收^[2]。

价格作为再生水的核心要素,直接影响着再生水的需求量与供给量。目前,我国的再生水市场价格机制并不明确,价格仍然由政府部门决定,各地普遍实行统一的再生水价格,不利于资源的合理配置,又由于缺乏市场化的调节手段,严重阻碍了再生水产业的发展。例如,西安市目前的再生水价格是 $1.10\text{元}/\text{m}^3$,这种由政府规定的统一价格无法满足再生水市场用户的有效需求。政府为促进循环经济的发展而制定的再生水价格一般较低,不利于资源的有效配置,也不利于再生水厂的扩大再生产,进而造成再生水的推广使用受到限制,潜在用户无法使用再生水,最后导致市场的需求量越来越少,远远低于再生水厂的供应能力^[3]。

目前国内现有的再生水定价方法主要有两种:一是基于成本定价,主要有平均成本定价、边际成本定价、全成本定价;二是基于用户的支付意愿定价,将调查得到的用户对再生水的支付意愿,作为再生水定价的主要依据。例如,调查用户愿意支付的再生水价格与自来水价格的比值^[4]。

上述两种方法在现实中都存在着很大的局限性,难以制定合理的再生水价格。本文认为再生水的定价应区别于一般的商品定价,其定价政策应该在保证再生水成本回收的前提下,扩大潜在用户对再生水的需求量,而一般的单一水价又不能做到这两点,因此,对再生水应该实行基于成本加成法的阶梯式水价^[5]。最后,本文立足于丝绸之路经济带起点西安市的实际情况,对再生水的价格制定进行研究,寻找经济社会可持续发展与再生水资源合理利用之间契合点,进而为丝绸之路经济带沿线地区经济社会可持续发展提供水资源保障的决策依据。

2 再生水用户需求分析

再生水的市场需求主要有:工业冷却用水、城市清扫、绿化用水、生活冲厕用水、景观用水、洗车用水、消防用水等^[6]。虽然不同的市场需求对再生水的水质要求有所不同,但考虑到针对不同水质要求,分别建设管网的可行性较低,本文中管网均以相对较高水质要求统一建设。

再生水进入居民生活环境,主要是作为冲厕用水。对于西安市而言,由于居民对再生水认知的缺

乏,一部分铺设了再生水管道的的小区,由于设施运行的稳定性差、居民接受程度低等原因,管道、设施多处于闲置状态^[7]。对于市政、工业、城市杂用等用户而言,在再生水水质和水量能够满足使用的安全性、稳定性的前提下,再生水可以替代自来水。在再生水管网覆盖范围内,当再生水的价格较自来水的价格具有明显优势时,用户为了节约成本,通常会选择使用再生水。

3 模型建立的意义

本文的模型主要是从以下两个方面进行考虑:

(1)适当提高再生水的市场价格,保障再生水厂的正常扩大再生产。运用成本加成的方法确定再生水的总成本,总成本与再生水管道铺设长度和用户需水量有关,不同用户使用再生水的成本不同。目前工艺条件下,再生水制水总成本相对较高。据调查,管道的铺设成本是影响再生水制水总成本的主要因素,也是影响再生水用户群的关键因素,根据管道铺设长度,可以将再生水用户分成若干个用户群。短距离范围内的用户群,由于用户距离再生水厂较近,便于运输,管道铺设成本较低,用户使用再生水的成本自然也较低,此时,再生水较自来水具有明显的价格优势,能够赢得用户的青睐;长距离范围内的用户群,管道铺设较长,用户使用再生水的成本相对较高,无论是再生水厂还是用户,都会慎重选择。此时,再生水厂为了维持正常的运营,会选择放弃长距离内用户群中需水量较少的用户。这种情况下,用户就会遵循就近原则,选择附近价格较低的再生水厂输送的再生水,这样能有效促进再生水资源的合理利用。

(2)适当扩大再生水潜在用户市场,提升再生水市场的需求量。采用阶梯定价的方法,针对需求量不同的用户采用差异化的再生水使用价格。对于需求量大的用户,制定较高的再生水使用价格,一方面可以减少资源浪费,另一方面可以促进再生水厂的成本回收,进而保障再生水厂扩大再生产^[8]。由于需求量较大的再生水用户主要是市政用户和工业用户,该类用户使用再生水价格相对自来水价而言有很大的价格优势,因此,在不造成用户流失的情况下,可以适当提高再生水价格。而对于需求量较少的用户,采取低价格的优惠政策,鼓励小型用户使用再生水,降低潜在用户使用再生水的价格门槛,进而扩大再生水的需求市场。

①数据来源于西安市水务局。

4 成本加成法模型的建立

再生水厂作为市场的供给方,再生水的总成本是其关注的焦点。在再生水研究领域,常用的有“老三段”法、“预处理+超滤”法、“生物+臭氧”法等处理工艺。目前国内多采用“老三段”法^[9],即原水经提升后投入混凝剂(聚合氯化铝)和助凝剂(聚丙烯酰胺),接着进行凝聚沉淀,主要在静态混合器、凝聚反应沉淀池中进行,再经V型滤池过滤,之后加入氯进行消毒,最后通过加压泵进入再生水管网,送至用户。该法操作简便、工艺成熟、投资运营成本较低。具体处理工艺如图1所示。

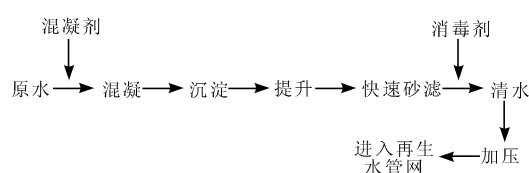


图1 再生水“老三段”法处理工艺流程图

成本加成法是指按产品单位成本加上一定比例的利润作为产品总成本,进而依据总成本制定产品价格的方法。由图1可见,蕴含在再生水中的总成本包括再生水的年制水成本、输送成本、企业正常利润。再生水的年制水成本包括:再生水厂建设投资年折旧费和运行管理费,而运行管理费又主要是由动力费、药剂费、大修和检修维护费、工资福利、管理费及其他费用构成^[10]。

4.1 再生水年制水成本

(1)再生水厂建设工程投资年折旧费。在此引用田一梅等人^[11]建立的再生水厂建设投资费用函数 $F = 153.70Q^{0.83}$,则

$$C_1 = 153.70k_1Q^{0.83} \quad (1)$$

式中: C_1 为工程投资年折旧费,元; Q 为再生水厂处理规模, m^3/d ; k_1 为固定资产综合折旧费率,一般取值为5.00%。

(2)再生水年运行管理费

$$C_2 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (2)$$

式中: C_2 为再生水年运行管理费,元; E_1 为动力费,元; E_2 为药剂费,元; E_3 为大修理费和检修维护费,元; E_4 为管理、工资福利等其他费用,元。

① 动力费

$$E_1 = k_2eQH \quad (3)$$

式中: E_1 为动力费,元; k_2 为修正系数,与各级水泵和电动机等用电设备及其效率等有关的系数,一般取1.15; e 为电费单价,元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$; Q 为再生水厂

处理规模, m^3/d ; H 为包括一级泵站、二级泵站及增压泵站的全部扬程^[10], m 。

② 药剂费

$$E_2 = \frac{365Q}{10^3} \sum_{i=1}^n (a_i b_i) \quad (4)$$

式中: E_2 为药剂费,元; a_i 为第 i 种药剂的单价,元/ kg ; b_i 为第 i 种药剂的平均投加量, kg/m^3 ; n 为自然数。

③ 大修理费和检修维护费

$$E_3 = k_3 \times E_1 \quad (5)$$

式中: E_3 为大修理费和检修维护费,元; k_3 为大修、检修及维修的综合费用系数,一般取值为2.50%。

④ 管理、工资福利等其他费用

$$E_4 = (C_1 + E_1 + E_2 + E_3) \times k_4 \quad (6)$$

式中: E_4 为管理、工资福利等其他费用,元; k_4 为工资福利、管理费、污泥处理及其他费用取值的比例系数,取值在15.00%左右。

(3) 再生水年制水成本

$$C = C_1 + C_2 = 13.2566Q^{0.83} + 1.3225eQH + 1.15 \times \frac{365Q}{10^3} \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (7)$$

式中: C 为再生水年制水成本,元;其他符号同前。

4.2 再生水年运输成本

再生水管网设计使用年限一般为50 a,直线折旧法计提折旧,年折旧率为2.00%。输送管网费用引用田一梅等^[11]建立的费用函数: $F = 16.72Q_i^{0.78}L_i$,则

(1) 再生水管网建设投资年折旧费

$$E_5 = 16.72Q_i^{0.78}L_i \times 2\% \quad (8)$$

式中: E_5 为再生水管网建设投资年折旧费,元; Q_i 为某用水户 i 对再生水的需求量; L_i 为该用户与再生水厂之间需要铺设的管道长度。

(2) 再生水管网年维护费

$$E_6 = 16.72Q_i^{0.78}L_i \times 3.50\% \quad (9)$$

式中: E_6 为再生水管网年维护费,一般取管网建设费用的3.50%,元;其他符号同前。

(3) 再生水年运输成本

$$D = E_5 + E_6 = 0.9196Q_i^{0.78}L_i \quad (10)$$

式中: D 为再生水年运输成本,元;其他符号同前。

4.3 再生水的成本价格

由于再生水实行零税率政策,且再生水行业受政府监控,不允许获得超额利润,根据《城市供水价格管理办法》,再生水行业的平均利润率不得高于6.00%,此处按 r 计算^[12],则

$$W_s = C + D + r(C + D) \quad (11)$$

式中: W_s 为再生水厂为用户 i 供给再生水的货币价值量, 元; D 为再生水年运输成本, 元; C 为再生水的年制水成本, 元; r 为利润率。

设交易时再生水价格为 P_i , 用户 i 所需支付的货币价值量 W_d , 则

$$W_d = P_i Q_i \quad (12)$$

式中: W_d 为用户 i 所需支付的货币价值量, 元; P_i 为交易时再生水价格, 元; r 为利润率。

根据市场定价机制理论, 对再生水用户 i 而言, 再生水供需双方交易达成时有: $W_s = W_d$ 即

$$P_i Q_i = (0.03632Q_i^{0.83} + 0.003623eQH + 1.15Q_i \sum_{i=1}^n a_i b_i + 0.002519Q_i^{0.78} L_i)(1+r) \quad (13)$$

式中: 符号同前。

根据公式(13), 可以得出, 当再生水厂规模固定时, 再生水的成本价格主要与用户需求量和管道铺设长度有关, 当某用户需求量越小时, 该用户使用再生水的价格就会相应越高; 用户距离再生水厂越远, 该用户使用再生水的价格也会越高。

5 基于成本加成的阶梯定价模型的建立

为了简化计算, 将用户与水厂之间的距离划分为 k 个区间 (k 为自然数), $[0, L_1)$, $[L_1, L_2)$, $\dots$, $[L_{k-1}, L_k]$, 每个区间范围内的用户为一个用户群体。用户群 k 中, 按用户需水量大小将用户分为 A、B、C 3 个等级, 其中 A、B、C 各级用户数量占总用户数量的比例为 1:3:1, 对应的需水量按从小到大顺序划分的区间为 $[Q_{\min}, Q_m)$, $[Q_m, Q_n)$, $[Q_n, Q_{\max}]$ 。以区间距离的平均值作为该用户群的代表距离, 可得到该用户群 k 的各级用户再生水价格:

$$P_k(r) = (1+r) \cdot (0.03632Q_i^{0.83} + 0.003623eQH + 1.15Q_i \sum_{i=1}^n a_i b_i + 0.002519Q_i^{0.78} \frac{L_{k-1} + L_k}{2}) / Q_i \quad (14)$$

式中: $P_k(r)$ 为用户群 k 的各级用户再生水价格, 元/ m^3 ; L_{k-1} 为用户群 k 与再生水厂之间最短距离, m; L_k 为用户群 k 与再生水厂之间最长距离, m; 其他符号同前。

对于 A、B、C 级用户分别采取利润率 r 为 2%、4%、6%。由此可以得到, 各个距离区间、用水量区间内的用户 i 再生水的价格为:

$$P_i = \begin{cases} P_k(r = 0.04), & Q_i \in [Q_{\min}, Q_m) \\ P_k(r = 0.05), & Q_i \in [Q_m, Q_n) \\ P_k(r = 0.06), & Q_i \in [Q_n, Q_{\max}] \\ L_i \in [L_{k-1}, L_k] \end{cases} \quad (15)$$

式中: P_i 为用户 i 的再生水价格, 元/ m^3 ; $Q_{\min}$ 、 $Q_{\max}$ 分别表示在用户群 k 中, 用户对再生水需水量的最小值和最大值, m^3 ; Q_m 表示用户群 k 中, B 级用户对再生水需水量的最小值, m^3 ; Q_n 表示用户群 k 中, C 级用户对再生水需水量的最小值, m^3 ; 其他符号同前。并且, 再生水的需求用户中, 再生水的最高定价不应高于自来水的价格 $P_{\text{自}}$, 即 $P_i < P_{\text{自}}$; 当 $P_i \geq P_{\text{自}}$ 时, 视为该用户放弃使用再生水。

6 实例分析

西安市第二污水处理厂位于西安市西南郊的北石桥村东侧, 主要是接纳和处理西安市南郊居住区的生活污水和工业企业的生产废水, 全区的总服务面积约为 83 km^2 。目前, 西安市第二污水处理厂的处理规模为 15 万 m^3/d , 以 60% 的供水能力计算, 即 Q 为 9 万 m^3/d , 工作泵站的全扬程约为 290 m。西安市第二污水处理厂的再生水用户主要包括: 西郊热电厂、西安化工厂、丰庆公园、星王公司、城管委、融侨置业、创业水务、航空四站、高科物业等^[1]。混凝剂单价为 0.9 元/kg, 用量为 0.01 kg/ m^3 ; 消毒剂单价为 3 500 元/kg, 投加量为 0.005 kg/ m^3 , 电费单价 1.00 元/(kW·h)。将用户与水厂之间的距离划分为 $[0, 3000)$, $[3000, 5000)$, $[5000, 10000)$, $[10000, +\infty)$ 4 个用户群。

西郊热电厂距离西安市第二污水处理厂 1 300 m, 再生水需求量约为 0.7 万 m^3/d 。由于 $1300 \in [0, 3000)$, 该用户属于第一个用户群, 即 $k = 1$ 。调查显示, 该用户群中只有 20% 的用户对再生水的需求量在 0.6 万 m^3/d 以上, 所以, 西郊热电厂属于该用户群中的 C 级用户, 取 $r = 6\%$ 。根据本文建立的再生水定价模型进行计算, 可以得出西郊热电厂使用再生水的价格为 $P_i = P_1 = 1.17$ 元/ $m^3 < P_{\text{自}}$ 。

7 结 语

合理的再生水价格对促进再生水回用, 有着极其重要的意义。本文借助于阶梯定价模型, 以西安市第二污水处理厂为例, 对西郊热电厂使用再生水的价格进行了简单测算。测算结果显示, 当再生水的利用率为 60% 时, 西郊热电厂使用再生水的价格

为 1.17 元/m³,与实际情况相符,验证了本文基于成本加成的再生水阶梯定价方法的准确性与实用性,此价格与自来水价格相比,具有很大的优势。但在实际调查中发现,再生水的利用情况很不乐观,利用率不足设计值的 20%。一些距离水厂较远、用水量较少的用户,使用再生水的成本价格较高,此时,单一的价格体制不能形成有效的市场价格调节机制,无法合理地配置资源。因此,再生水产业在今后的发展建设中,应遵循市场调节、就近供水、阶梯定价的原则。

参考文献:

[1] 郭毅,王彩芹,龚洁,等. 西安市再生水利用存在问题及预测分析研究[J]. 环境科学与管理,2013,38(5):79-82.

[2] 刘小英. 城市污水再生回用费用模型与成本分析[D]. 西安:西安建筑科技大学,2003:39-42.

[3] 张仁田,童利忠. 全成本水价制定中有关问题的探讨[J]. 江苏水利,2002(5):45-46.



(上接第 28 页)

[12] Meehl G A, Arblaster J M, Tebaldi C. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations [J]. Geophysical research letters, 2005, 32:L18719.

[13] 余卫东,柳俊高,常军,等. 1957-2005 年河南省降水和温度极端事件变化[J]. 气候变化研究进展,2008,4(2):78-83.

[14] 李斌,李丽娟,李海滨,等. 1960-2005 年澜沧江流域极端降水变化特征[J]. 地理科学进展,2011,30(3):290-298.

[15] 李萍,魏晓妹. 气候变化对灌区农业蓄水量的影响研究[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):81-85.

[16] 曾英,黄祖,张红娟. 气候变化对陕西省冬小麦种植区的影响[J]. 水土保持通报,2007,27(5):137-140.

[17] 刘明春,张强,邓振镛,等. 气候变化对石羊河流域农业生产的影响[J]. 地理科学,2009,29(5):727-732.

[18] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学 D 辑,2007,37(11):1504-1514.

[19] 孙建国,王涛,颜长珍. 气候变化和人类活动在榆林市

[4] 段涛. 城市污水资源化中再生水的定价理论与方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2005:13-17.

[5] 王济干,舒欣. 水价构成要素分析与系统设计[J]. 水利水电技术,2003,34(3):60-63.

[6] 尹敬东. 质量差异成本与产品差异的均衡定价分析[J]. 数量经济技术经济研究,2001,18(2):83-86.

[7] 张秋菊,王铂铎,崔晨,等. 西安市再生水回用浅析[J]. 地下水,2011,33(2):95-97.

[8] 强宇明. 城市污水资源化中再生水项目需求分析[D]. 西安:西安建筑科技大学,2005:19-27.

[9] 段涛,刘晓君. 城市再生水的需求分析[J]. 生态经济,2007(4):151-153.

[10] 李梅,黄廷林. 再生水资源成本价格模型的构建[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2004,36(2):160-162.

[11] 田一梅,赵新华,张雅君. 城市自来水与中水系统综合规划的优化研究[J]. 给水排水,2001,27(5):23-27.

[12] 刘晓君,丁超. 再生水定价模型构建及应用——以西安市为例[J]. 价格理论与实践,2012(9):26-27.

荒漠化过程中的相对作用[J]. 中国沙漠,2012,32(3):625-630.

[20] Yang Dawen, Kanae S, Oki T, et al. Global potential soil erosion with reference to land use and climate change[J]. Hydrological Processes, 2003, 17(14), 2913-2928.

[21] 蔡新玲,王繁强,吴素良. 陕北黄土高原近 42 年气候变化分析[J]. 气象科技,2007,35(1):45-48.

[22] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[J]. 干旱区研究,2007,24(1):49-55.

[23] 何书樵,郑有飞,尹继福. 近 50 年长江中下游地区降水特征分析[J]. 生态环境学报,2013,22(7):1187-1192.

[24] 李丽平,章开美,王超,等. 近 40 年华南前汛期极端降水时空演变特征[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):443-450.

[25] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

[26] 刘贤赵,张安定,李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京:科学出版社,2009.