

张 玉 赵 玉 熊国保

生活污水处理的成本定价研究

——基于污水处理成本与处理量关系分析

内容提要:科学制定生活污水处理价格是建立水污染治理长效机制的基础,准确判断污水处理的成本变化规律是污水定价的依据。本文借助成本理论和面板数据模型,讨论了污水处理成本与定价的关系,并以江西省为例,分析了城镇污水处理运行成本变化的拐点及最优生产规模。结果表明各地区统一的污水处理最低收费定价办法没有起到“奖勤罚懒”的效果。尽管大部分城镇的污水处理项目处于规模报酬递增阶段,但企业不愿以数量换效益。这导致大多数地区污水处理未达到资源配置的帕累托最优状态。监管部门应加强成本监审和体制机制创新,结合污水处理企业所处的规模经济阶段,综合做出“降成本、稳价格和提效率”的数量、价格和质量规制。

关键词:生活污水 规模经济 处理成本 污水处理费

伴随着城市化、工业化的加速推进,当前我国水资源污染形势十分严峻,2006-2015年,全国废水排放总量由514.48亿吨增至735.32亿吨,累计增长了45.92%。党的十九大报告指出,新时代中国特色社会主义,要实行最严格的生态环境保护制度,形成绿色发展方式和生活方式,建设美丽中国,创造良好生产生活环境,因此,在污水排放量快速增长的同时,对污水的处理要求也将越来越高。截至2015年,我国城市污水处理能力为16065万立方米,还远不足以满足日益增长的污水处理需要。污水处理费的科学定价机制,是保证污水处理企业正常运行,改变我国污水处理率低下现实的需要,是建立水污染治理长效机制的保障。鉴于污水处理行业的特殊性,污水处理定价要综合考虑供需双方的承受能力,而研判其成本变化规律则是污水处理科学定价的关键。本文从规模经济的角度出发,建立面板数据模型,以江西省生活污水处理为例,研究污水处理成本和定价的关系,以期对污水处理的科学定价提供参考。

一、生活污水处理的成本定价研究相关文献评述

污水处理作为一种具有外部性的公共事业服务,尚缺少成熟的市场。因此,目前国内外污水处理行业在实践中主要以单位成本为基本依据,再加上预期利润来确定污水处理的费率。马乃毅、姚顺波(2010)指出,成本定价的原则是污水处理费要充分反映其处理成本,在污水处理成本测算的基础上,选择适当的费率结构进行费率设计。谭雪等(2015)认为,完善污水处理费的政策体系,要基于环境无退化时的治理成本来制定污水处理费的征收标准。合理的污水处理定价是科学拨付污水处理服务费的重要保证。耿建新等(2012)认为,当前,我国很多

污水处理厂处于亏损状态的主要原因是在确定污水处理价格时低估了运行成本,从而导致污水处理费收不抵支。高华、朱俊文(2007)指出,污水处理项目定价应该满足成本补偿合理利润原则、全生命周期成本原则和政府监管下的差别定价原则。刘晓军等(2014)以再生水管网建设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之间的关系。吴健等(2015)测算了合肥市污水处理价格对污水处理成本的覆盖能力,并总结了相关的定价经验。张玉等(2017)以赣江流域污水行业为研究对象,讨论了该流域污水现有成本定价所产生的市场失灵以及由此带来的福利损失。柯水洲等(2017)运用成本费用函数模型和神经网络模型进行成本拟合,建立了城镇污水处理服务费定价模型,为城镇污水处理服务费定价提供了指导。

现有成果对企业成本定价做了较为详细的梳理,但缺乏对成本变化规律特别是生产规模与成本关系的研判。由于不能很好地把握成本变化规律,管理部门设置的价格常常是低效的。本文基于成本理论和市场理论分析了污水处理企业的生产行为,通过分析污水处理成本和定价影响因素之间的关系,得出污水处理的边际成本函数和平均成本函数。在此基础上,讨论了污水处理行业的资产折旧率、贷款利率和平均报酬率,以江西省污水处理行业为例对污水处理价格做了测算。相关结论可以为污水定价提供量化的依据,并得出一些政策启示。

二、生活污水处理成本定价理论研究

(一)生活污水处理成本定价的经济理论

从理论层面分析,以理想的完全竞争市场为参照物,通过对比研究,探索自然垄断行业的价格规制路径。在完全竞争市场,边际成本定价是可行的且最优的定价

方案,此时市场价格等于边际成本。如图1所示,当平均成本曲线的最低点处在需求曲线的右边,并且需求曲线和边际成本曲线的交点位于平均成本曲线的下方时,产量 Q_1 有效率,但污水处理厂无利可图。如果管制部门确定这样的产量水平,那么由社会资本运营的污水处理厂可能会减少处理量、降低处理标准甚至退出经营。厂商维持正常运营,它就至少需要达到盈亏平衡点。这就意味着它必须在图1中的平均成本曲线上方进行生产,同时,如果它为所有愿意付费的人提供服务,那它就必须需求曲线上经营。

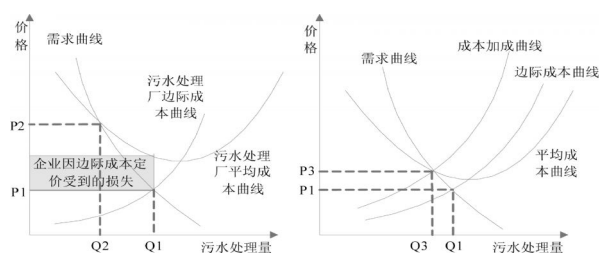


图1 污水处理的供需分析

如图1所示, (P_2, Q_2) 是满足这一条件的临界点。在这一点上, 污水处理厂按照生产的平均成本出售服务, 可以补偿成本。但相对于有效率的产量水平 Q_1 来说, 污水处理服务的供给是不足的。污水处理企业无法通过边际成本定价收回成本。

若政府允许污水处理厂实行垄断定价, 会导致帕累托低效率。通常的做法是允许企业采用成本加成定价生产。该方法的优点在于价格能保证企业运行成本和期间费用得到补偿, 并有一定的盈利, 价格较稳定且定价方法简便易行。

图2表明, 当按照供需平衡达到均衡价格 P_1 时, 由于 (Q_1, P_1) 位于企业平均成本曲线下方, 企业处于亏损状态, 需要政府提供补贴维持正常生产。而成本加成曲线与需求曲线相交于平均成本线的 (Q_3, P_3) , 污水处理价格在不低于 P_3 时可弥补污水处理成本并能得到一定的收益。成本加成定价的关键是成数的确定。

从经济学角度来看, 污水处理厂的成本可分为固定成本和可变成本。由于污水处理属于重资产行业, 厂商的固定成本远高于可变成本。其中, 固定成本又可以分为避免成本和沉没成本。当厂商从行业中退出时, 避免成本能够通过出售、出租等方式得到补偿, 而沉没成本无法变现而得不到补偿。污水管网设施等专用性强的固定资产具有“沉没成本”的性质。对于沉没成本部分, 应通过政府建设或政府与社会资本合作建设减少项目后期的机会主义行为, 而对于避免成本, 可通过制度安排增强其变现能力, 并根据折旧率和贷款利率等因素在定价时予以覆盖。

(二) 生活污水处理成本定价的理论模型

根据生产扩展线理论, 建立如下形式成本函数:

$$C = \alpha_0 + \alpha_1 Q + \alpha_2 Q^2 + \alpha_3 Q^3 \quad (1)$$

其中, C 表示成本, Q 表示产量。该三次函数需要满足条件: $\alpha_1 > 0, \alpha_3 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_2 \times \alpha_2 < 3\alpha_1 \times \alpha_3$ 。

通过计算得到, 成本函数的拐点出现在产量等于 $-\alpha_2 / (3 \times \alpha_3)$ 时, 即在该点处, 边际成本函数达到最小值。当边际成本函数和平均可变成本函数相交时, 可变平均成本达到最小值, 此时产量等于 $-\alpha_2 / (2 \times \alpha_3)$ 。从短期来看, 设备、厂房等固定资产是不可变的, 企业的成本分为固定成本和可变成本, 此时 α_0 是显著的, 但从长期来看, 企业可以调整生产规模获得更大的利润, 此时所有成本均为可变成本, α_0 不显著。

对式(1)求导, 得到边际成本 MC :

$$MC = \alpha_1 + 2\alpha_2 Q + 3\alpha_3 Q^2 \quad (2)$$

式(1)左右两边同时除以 Q 得到平均成本 AC :

$$AC = \frac{\alpha_0}{Q} + \alpha_1 + \alpha_2 Q + \alpha_3 Q^2 \quad (3)$$

根据成本理论, MC 是一条 U 型曲线, 长期来看, AC 也是一条 U 型曲线。两条线相交于 AC 的最低点。成本线先降后升的 U 型特征意味着: 在生产扩张的开始阶段, 企业由于扩大生产规模而使经济效益得到提高, 这便是规模经济。当生产扩张到一定的规模之后, 厂商继续扩大生产规模, 会使得经济效益下降, 从而出现规模不经济。污水处理属于自然垄断行业, 具有很强的进入壁垒。当企业可以通过调整产量来影响市场价格时, 就会出现更高的定价、更少的产出、更低的消费者剩余和无谓损失。政府通过价格管制来降低无谓损失。假设政府将污水处理价格设置为 P , 当 P 等于长期边际成本时, 污水处理行业实现了有效的资源配置。当 P 大于长期边际成本时, 污水处理的边际收益大于其长期边际成本, 社会需求大于厂商的供给, 污水处理行业资源配置不足。比较 P 与 MC 之间的关系可以判断资源是否得到有效的配置。但资源达到最优配置时, 企业未必会盈利。当 P 至少不低于平均可变成本时, 企业才会继续生产, 否则会退出污水处理行业。假设污水管网固定资产折旧率为 r_0 , 污水处理设施固定资产折旧率为 r_1 , 企业融资成本率为 r_2 , 行业总资产报酬率为 r_3 , 增值税率为 t 。根据成本加成得到污水处理定价模型(4)。

$$P = AC(1 + r_0 + r_1 + r_2 + r_3) / (1 + t) = \frac{(\alpha_0 + \alpha_1 Q + \alpha_2 Q^2 + \alpha_3 Q^3)(1 + r_0 + r_1 + r_2 + r_3)}{Q(1 + t)} \quad (4)$$

(三) 成本定价理论模型的经济学意义

污水处理费是地方政府、污水处理企业和用户三方利益博弈的均衡价格。生活污水处理定价对于政府管理部门来说是一个“两难”问题。在 2015 年国家三部委出台调整污水处理收费标准的指导意见之前, 全国各地污水处理定价普遍偏低, 部分污水处理厂运行压力较大, 甚至在扣除政府补贴后处于亏损状态。经济学理论认为, 在污水处理等垄断性行业中, 既存在市场失灵, 也存在政府失灵现象。市场失灵主要是由于在污水处理行业中, 价格信号产生了扭曲, 不能客观地反映企业成本和用户的有效需求。政府失灵主要是由于信息的不对称,

特别是不能准确把握企业运行成本变化规律,导致无法对价格做出合适的规制。管理部门只有按照污水处理规模、企业运行成本等因素对污水处理企业做出综合规制,才能提升整体的社会经济福利水平。鉴于此,从经济学上厘清生活污水处理规模、企业运行成本以及污水处理定价的关系,能够提升主管部门的规制效率,有助于解决水污染这一重大社会热点问题。

三、生活污水处理的成本定价实证研究
——以江西省为例

(一) 平稳性检验

估算成本函数的参数,准确把握边际成本和平均成本的变化规律,可以为污水处理定价提供依据。2015 年江西省城镇生活污水排放量已经达到了 14.65 亿吨,其中,污水中化学需氧量达到了 57.30 万吨,氨氮量达到了 6.38 万吨,而同期城镇生活污水的处理量为 10.94 亿吨,污水中化学需氧量去除量为 17.65 万吨,去除率仅为 30.80%,氨氮量去除量为 1.64 万吨,去除率仅为 25.71%。本文从《江西统计年鉴》和《江西省环境统计年报》等资料中收集了 2010-2015 年江西省 11 个地市污水处理项目的实际污水处理量和运行成本等数据。在 Eviews8.0 平台上,采用面板单位根检验方法检验各变量的平稳性,表 1 中报告的结果显示,数据通过了三种检验,可以认为变量是平稳的,可以继续做面板回归分析。

表 1 面板单位根检验结果

变量	检验形式 (c,t,k)	LLC	IPS	ADF - Fisher	PP - Fisher	结论
运行成本	(1,0,0)	-10.846 [0.000]	-2.169 [0.015]	43.435 [0.004]	61.032 [0.000]	无单位根
污水处理量	(1,0,0)	-65.415 [0.000]	-17.368 [0.000]	66.869 [0.000]	79.812 [0.000]	无单位根

注:检验形式(c,t,k),其中 c 代表截距项,如果存在截距项 c 取 1,否则取 0。t 代表趋势项,如果存在趋势项 t 取 1,否则取 0。k 代表滞后项,如果存在滞后项 k 取 1,否则取 0。

(二) 估计结果

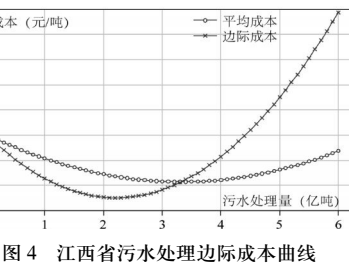
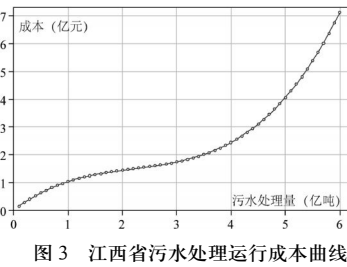
不同地区污水处理工艺和排放标准存在差异,会导致成本的差异,因此,本文选择面板数据的变截距模型来衡量这种异质性。通过比较固定效应和随机效应的拟合效果,发现固定效应模型的拟合效果更佳。表 2 报告了式(1)的回归结果。从拟合效果来看,成本函数的拟合优度高,判定系数达到了 0.90 以上,校正的判定系数接近 0.90,DW 值为 1.698 则表明模型中不存在自相关性。方程参数都通过了显著性检验。

表 2 成本函数估计结果

变量	系数	标准误差	t 值	概率
Q^3	0.086	0.038	2.272	0.027
Q^2	-0.572	0.190	-3.005	0.004
Q	1.522	0.248	6.146	0.000
C	-0.192	0.084	-2.279	0.027

根据回归得到的参数,得到了运行成本曲线(图 3)及其边际成本曲线、平均成本曲线(图 4)。通过计算可知,运行成本函数的拐点为(2.217, 1.309)。边际成本和平均函数的交点为(3.219, 0.513)。这两个关键点表明,在(0, 2.217)区间内随着污水处理量增加,污水处理的

边际成本下降,规模报酬递增;当污水处理达到 2.217 亿吨时,边际成本最低为 0.254 元/吨,但平均成本尚未达到最低点,此时的平均成本约为 0.591 元/吨。在(2.217, +∞)区间内,随着污水处理量增加,污水处理的边际成本上涨,总成本变化将出现转折。从图 4 可知,在区间(2.217, 3.219)内,虽然边际成本是递增的,但在该区间内,边际成本曲线位于平均成本曲线之下,这使得随着污水处理量的增加,平均成本继续下降,当污水处理量达到 3.219 亿吨时,平均成本达到最低,此时为 0.513 元/吨。在(3.219, +∞)区间内,平均成本上涨,规模报酬递减。



(三) 成本定价测算

根据参数估计结果以及江西省生活污水处理量,计算出平均成本 AC1 和边际成本 MC。由表 3 可知,南昌市污水处理目前处于边际成本递增阶段,污水处理涨价可以抑制污水排放量。其他城市污水处理处于边际成本递减阶段,生产规模均远低于最优规模。处于江河上游的赣州市生活污水处理量排在江西各城市的第二位,但仅有 1.334 亿吨。根据 2016 年《江西省统计年鉴》,赣州市 2015 年生活及公共用水量合计为 3.360 亿吨。考虑到水资源在使用过程中的消耗,生活用水量是生活污水排放量的上限。不考虑漏损率,将生活用水量代入到方程(3)中,模拟出处理全部生活污水产生的平均成本值,记作 AC2,作为江西省污水行业价格规制的依据。成本变化显示,处理全部生活污水之后,除南昌的平均成本上升外,其他城市平均成本均出现了下降。

表 3 江西省各地区生活污水处理成本定价测算结果

地区	南昌	景德镇	萍乡	九江	新余	鹰潭	赣州	吉安	宜春	抚州	上饶
生活用水量	4.110	0.870	1.040	1.880	0.700	0.600	3.360	1.600	2.070	1.510	2.460
污水处理量	3.658	0.455	0.379	1.255	0.636	0.393	1.334	0.687	1.135	0.849	1.049
MC	0.790	1.055	1.125	0.493	0.899	1.112	0.455	0.858	0.556	0.737	0.606
AC1	0.528	1.280	1.318	0.940	1.193	1.311	0.912	1.170	0.983	1.098	1.017
AC2	0.624	1.089	1.020	0.751	1.164	1.210	0.571	0.827	0.706	0.854	0.635
AC2-AC1	0.095	-0.191	-0.298	-0.189	-0.029	-0.101	-0.341	-0.343	-0.277	-0.244	-0.382
P1	0.614	1.489	1.534	1.094	1.388	1.526	1.061	1.361	1.144	1.278	1.183
P2	0.726	1.267	1.187	0.874	1.354	1.408	0.664	0.962	0.822	0.994	0.739

注:生活用水量来源于 2016 年出版的《江西省统计年鉴》,包含公共用水,单位为亿吨;污水处理量来源于 2016 年出版的《江西省环境统计年鉴》,其单位为亿吨;平均成本、边际成本、模拟成本和成本变化由作者计算得到,其单位为元/吨。

根据成本定价公式和污水处理量数据可计算出各地区污水处理价格。万雨龙等(2007)和谭雪等(2015)的研究结果表明:污水处理设施固定资产基本折旧率为 4.8%,污水管网得到基本折旧率为 3.2%;根据央行长期贷款利率将平均融资成本率设置为 4.9%(王洪强等, 2015);根据相关上市公司年报数据,我国污水处理行业在 2016 年的投资回报率为 8%左右;根据财政部和国家税务总局下发的财税[2015]78 号文件,将增值税率设置为 3.9%。由式(4)模拟得到污水处理价格,记作 P1。用生

活用水量替换污水处理量,由此得到的全部生活污水都得到处理的价格,记作 P_2 。从估算结果来看,价格与成本变化规律是一致的。

从国家发改委[2015]119号文件给出的不低于0.95元/吨的定价来看,该价格下限是合理的。多数处于规模报酬递增阶段的企业可以通过提升污水处理量来获取利润。但是,江西省污水处理行业整体经营现状不容乐观,若不进一步提升处理量,0.95元/吨的价格不足以覆盖景德镇、萍乡等地区的污水处理平均成本。部分地区仍存在污水处理费上调的压力。

四、结论及政策建议

污水处理行业的性质决定污水处理定价的基础是平均成本,确定成本变化规律有助于管理部门做出合理的价格规制。本文通过研究发现:各地区整齐划一的最低收费定价策略,没有起到“奖勤罚懒”的效果。尽管大部分城镇的污水处理项目处于规模报酬递增阶段,但企业不愿以数量换效益。这导致大多数地区污水处理未达到资源配置的帕累托最优状态。监管部门应结合污水处理企业所处的规模经济阶段,综合做出“降成本、稳价格和提效率”的数量、价格和质量规制。本文在定量分析污水处理成本变化趋势的基础上,提出如下政策建议:

1.综合运用价格规制、数量规制和质量规制。在规模不经济阶段,应提高污水处理价格,培养居民的节水意识,抑制生活污水排放量。在规模经济阶段,提价的同时应结合各地区污水排放量对污水处理企业做出数量规制,以发挥污水处理的规模效应,降低污水处理的成本。价格规制应以污水处理的平均成本和边际成本变化为依据。做好污水处理的质量规制,在提价的同时,提高行业准入门槛和污水处理标准,让技术和管理更先进的企业经营污水处理项目。

2.在污水处理行业引入竞争机制。污水治理具有很强的外部性,应在流域内统筹签署污水处理合同,统筹管理污水处理项目。在同一流域的特许经营等契约中引入“流域内竞争”条款;将价格维持在流域污水处理的平均成本上,以起到“奖勤罚懒”的作用;在流域内实施污水治理“锦标赛”制度,定期在流域内展开污水治理效果的第三方评估;对于污水处理效果好的企业,给予一定的奖励,对于污水治理效果长期排名靠后的企业,强制其拍卖特许经营权或特许经营权到期后不再委托其经营。

3.实施制度创新,激励企业扩大污水处理规模。污水处理属于重资产行业,前期建设的污水管网等设施资产专用性强,资本回收期长,退出门槛高,这是企业不愿意扩大生产规模的根本原因。采用类似纵向一体化的政府企业合营制度安排,降低不完全契约的“敲竹杠”风险,吸引社会资本参与到项目建设和运营当中。实施绿色金融创新,降低企业扩大生产的融资成本。支持污水处理企业上市融资和再融资。鼓励污水处理企业发行绿色债券。同时推广责任投资理念,引导机构投资者开展绿色投资。

参考文献:

- [1]高华、朱俊文.循环经济理念下城市污水处理项目收费定价模型研究[J].价格理论与实践,2007(12).
- [2]尹希果、桑守田.中国经济增长中的污水排放特征分析[J].中国地质大学学报(社会科学版),2010(2).
- [3]马乃毅、姚顺波.污水处理费定价方法分类与比较研究[J].苏州大学学报(哲学社会科学版),2010(4).
- [4]刘晓君、韩思茹、罗西.基于成本加成的再生水阶梯定价方法研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(6).
- [5]王洪强、李皓、程敏.公共基础设施PPP项目定价研究——基于污水处理项目的定价模型应用[J].价格理论与实践,2015(11).
- [6]吴健、高壮、熊英、余丹.探析城市污水处理定价的“两难”困境——基于合肥市案例的观察与思考[J].价格理论与实践,2015(12).
- [7]谭雪、石磊、陈卓琨等.基于全国227个样本的城镇污水处理厂治理全成本分析[J].给排水,2015(5).
- [8]柯水洲、吴雨晴、高静思、朱佳.城镇污水处理服务费定价研究[J].环境工程,2017,35(3).
- [9]万雨龙、金腊华、陈克坚、袁杰、兰云飞、尹淑庄.低成本生物膜法处理城市污水试验研究[J].工业水处理,2007(4).
- [10]张玉、穆璐璐、熊国保.赣江流域城镇生活污水治理定价和政府规制研究[J].老区建设,2017(10).

(作者单位:东华理工大学经济管理学院)

Study on the Cost and Pricing of Domestic Sewage Treatment from the Perspective of Scale Economy

——Analysis of relationship between sewage treatment cost and processing capacity

Abstract:Water pollution control in Jiangxi province is very important to guarantee water security in the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta. Scientific pricing is the foundation of establishing a long-term mechanism of water pollution control, and the accurate judgment of the law of the sewage treatment cost variation is the basis for the sewage pricing. This paper discussed the relationship among the scale, cost and price by using cost theory and panel data model. It also studied the inflection point of the operating cost of urban sewage treatment and the optimal production scale in Jiangxi province. Results showed that the lowest pricing strategy of sewage treatment didn't play a good effect to award the diligent and punish the lazy. Although most of the urban sewage treatment projects are in the scale of increasing returns stage, but companies do not want to change the benefits by quantity. This resulted in failure to achieve the Pareto optimal state in resource allocation of waste water treatment in most areas. Supervision departments should strengthen the cost supervision and the mechanism innovation. Taking into account the stage of sewage treatment enterprises, the paper makes comprehensive strategy on cost reduction, price stability and efficiency increasing.

Keywords:Domestic sewage;Scale economics;Treatment cost;Sewage treatment fee