

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.17.017

武汉市污水处理厂按效付费理论方法研究

朱敏¹, 白国梁², 施浩川¹, 胡丹¹, 袁少博¹, 姚智爽¹

(1. 武汉市工程咨询部有限公司, 湖北 武汉 430014; 2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要: 为优化现有污水处理企业付费机制并减轻政府的财政压力,根据湖北省武汉市10座市级污水处理厂的运行成本和水质指标,分别从进水水质、处理水量和污染负荷削减3个方面构建了武汉市污水处理厂按效付费模型和方法,讨论了3种付费方式的准确性和实用性。结果表明,动力费与氨氮削减量、原材料购置费与总磷削减量、污泥处置费与进水总磷浓度可建立模型方程,对比实际成本和模型成本,动力费的模拟结果与实际动力费比较接近。综合按效付费模型适用于进水生生化需氧量(BOD₅)较低的污水处理厂运行成本定价。“一厂一策”的水处理按效付费模型结合污水处理绩效考核体系对水处理按效付费的理论研究具有重要的意义和实践价值。

关键词: 污水处理厂; 按效付费; 变动成本; 动力费; 原材料购置费; 污泥处置费

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)17-0111-07

Theory and Methods of Payment According to Efficiency in Sewage Treatment Plants in Wuhan

ZHU Min¹, BAI Guo-liang², SHI Hao-chuan¹, HU Dan¹, YUAN Shao-bo¹,
YAO Zhi-shuang¹

(1. Wuhan Engineering Consulting Department Co. Ltd., Wuhan 430014, China; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: To optimize the existing payment mode for sewage treatment enterprises and alleviate the financial burden on the government, a performance-based payment model and method were developed for sewage treatment plants in Wuhan. This was based on the operating costs and water quality indices of 10 sewage treatment plants in Wuhan, Hubei Province, focusing on influent quality, treatment volume, and pollution load reduction. Subsequently, the accuracy and practicality of the three payment methods were thoroughly examined. Model equations could be developed for power cost and ammonia nitrogen reduction, raw material acquisition cost and total phosphorus reduction, as well as sludge disposal cost and total phosphorus concentration of influent. By comparing the actual cost with the model results, it was found that the estimated power cost closely aligned with the actual expenditure. The comprehensive pay for performance model was applicable to the cost pricing of sewage treatment plants with lower influent biochemical oxygen demand (BOD₅). Studying the performance payment theory of sewage treatment, based on the “one plant one policy” model and integrated with the performance appraisal system of sewage treatment, holds great significance and practical value.

通信作者: 白国梁 E-mail: baiguoliang@wbccas.cn

Key words: sewage treatment plant; pay for performance; variable cost; power cost; raw material acquisition cost; sludge disposal cost

随着城镇化进程的快速推进,我国污水处理厂经历了一场全面覆盖城市、区县和乡镇区域的高速发展阶段。然而城镇污水处理未建立全系统、全成本和全寿命的建设与运行定价机制,存在管网规划建设落后和污水收集费用没有明确来源等问题,导致污水厂处理效率低下、污水管网投资不足以及政府对污水处理的财政支持压力巨大。

综合污水的收集和输送、处理和排放以及剩余污泥处置等方面的费用成本,国际污水处理价格制定包括污水处理全生命周期的总成本及污水处理单位合理的利润。我国由供水公司代为征收的排污费或污水处理费并非实际意义上的外部成本,实际的外部成本应包括污水造成的损失和处理污水的费用,若污水处理费用定价过低,会影响地方政府在环境领域的财政能力,也会增加政府对污水处理设施运营商进行商业支付的违约风险^[1]。以污水处理量为依据确定污水厂运行成本不能真实反映削减污染物的成本^[2-3],不但影响污水排污权的公平交易,而且不能有效激励和促进污水处理企业提高处理效率并削减更多的污染物。已有研究发现,通过技术改进和完善管理机制对降低污水厂的运行成本具有较大潜力^[4-6]。前期关于污水处理的定价机制研究仅局限于以COD和氨氮总削减量所用电耗为影响因素建立的成本模型,没有建立综合污水厂各处理阶段(原材料购置费、动力费、污泥处置费)运行成本与进出水水质指标间的成本模型^[7]。

在此背景下,笔者综合考虑污水处理厂各阶段成本的影响因素及进水BOD₅、COD浓度偏低的问题,将处理水量、进出水水质指标、污染物削减量、污水处理效率和污水处理考核评分体系纳入成本模型的计算中,能更加合理真实地反映污水处理厂的运行成本,建立污水按效付费模型,提出武汉市污水处理厂按效付费实施策略建议,以期为政府在购买污水处理服务费时提供参考。

1 研究方法

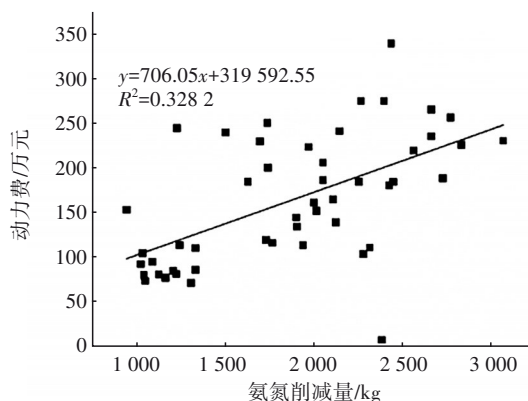
调查范围包括武汉市二郎庙、南太子湖、三金潭、沙湖、落步嘴、龙王嘴、汤逊湖、黄浦路、汉西和黄家湖10座市级污水处理厂。这10座污水厂的进

水污染物浓度分别与原材料购置费、动力费和污泥处置费数据进行模型拟合,选择解释度较高的模型方程作为成本核算的依据。

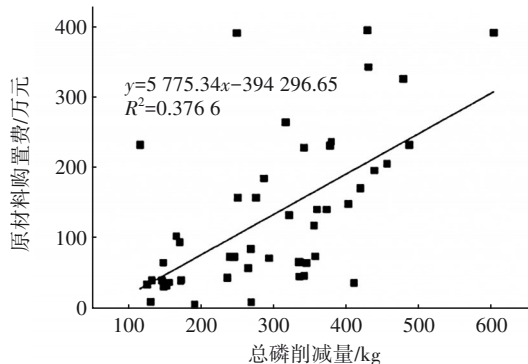
2 结果与讨论

2.1 与污水处理厂变动成本关联的按效付费模式

选择武汉市污水处理厂实际处理水量、进出水水质指标、污染物削减负荷及水量负荷率,与污水处理厂的动力费、原材料购置费、污泥处置费构建关系模型,确定影响污水处理厂生产成本的主要因素,建立数学模型以探索武汉市中心城区污水处理厂的按效付费模式。水质资料包括2018年—2020年武汉市中心城区10座污水处理厂的进出水COD浓度、氨氮浓度、总磷浓度、污水处理效率和实际处理水量。结果发现,污水处理厂动力费、原材料购置费、污泥处置费与进出水水质浓度之间没有明显的相关性,但动力费与氨氮削减量、原材料购置费与总磷削减量均呈线性正相关,污泥处置费可与进水总磷浓度建立三次方程模型,如图1所示。



a. 动力费与氨氮削减量的关系



b. 原材料购置费与总磷削减量的关系

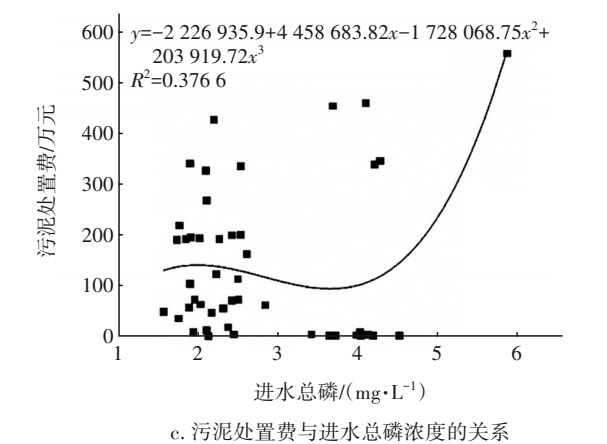


图1 动力费与氨氮削减量、原材料购置费与总磷削减量、污泥处置费与进水总磷浓度的关系

Fig.1 Relationship between power cost and ammonia nitrogen reduction, raw material acquisition cost and total phosphorus reduction, and sludge disposal cost and total phosphorus concentration of influent

动力费、原材料购置费及污泥处置费的方程模型分别见式(1)~(3)。

动力费 = 706.05 × Q × (氨氮_{in} - 氨氮_{eff}) + 319 592.55 (1)

表1 二郎庙污水处理厂基于水质指标的模型成本与实际成本

时 间	实际费用				模型计算费用			
	动力费	原材料购置费	污泥处置费	变动成本	动力费	原材料购置费	污泥处置费	变动成本
2019年3月	711 257	368 354	1 920 900	3 000 511	953 424	866 171	1 374 977	3 194 572
2019年4月	803 247	317 050	467 375	1 587 672	824 065	823 577	1 394 821	3 042 463
2019年5月	734 097	326 933	4 457	1 065 487	769 805	846 021	1 400 584	3 016 410
2019年6月	797 372	336 606	1 032 691	2 166 669	764 483	693 795	1 404 921	2 863 199
2019年7月	948 042	392 116	706 090	2 046 248	799 126	959 235	1 329 618	3 087 979
2019年11月	809 245	397 636	1 223 930	2 430 811	894 271	811 224	1 383 797	3 089 292
2019年12月	855 153	940 929	2 000 359	3 796 411	969 149	951 477	1 290 958	3 211 584

表2 南太子湖污水处理厂基于水质指标的模型成本与实际成本

时 间	实际费用				模型计算费用			
	动力费	原材料购置费	污泥处置费	变动成本	动力费	原材料购置费	污泥处置费	变动成本
2019年2月	1 846 241	466 776	14 272	2 327 289	1 179 084	1 939 691	1 117 148	4 235 923
2019年3月	1 108 842	739 585	4 546 200	6 394 627	1 664 953	2 023 883	941 672	4 630 508
2019年4月	1 444 746	648 653	24 292	2 117 691	1 372 101	1 958 413	941 094	4 271 608
2019年5月	1 651 279	2 373 500	14 272	4 039 051	1 518 180	2 154 786	943 214	4 616 180
2019年6月	1 345 209	3 964 229	3 464 039	8 773 477	1 375 377	2 438 152	1 188 643	5 002 172
2019年7月	2 060 918	2 316 163	24 292	4 401 373	1 478 492	2 144 728	1 001 402	4 624 622
2019年8月	2 237 368	2 288 032	14 272	4 539 672	1 421 391	1 935 847	941 205	4 298 443
2019年11月	1 804 124	1 408 907	14 272	3 227 303	1 742 232	2 116 319	1 027 616	4 886 167

原材料购置费 = 5 775.34 × Q × (总磷_{in} - 总磷_{eff}) - 394 296.65 (2)

污泥处置费 = -2 226 935.9 + 4 458 683.82 × 总磷_{in} - 1 728 068.75 × 总磷_{in}² + 203 919.72 × 总磷_{in}³ (3)

式中:氨氮_{in}为进水中氨氮浓度,mg/L;氨氮_{eff}为出水中氨氮浓度,mg/L;总磷_{in}为进水中总磷浓度,mg/L;总磷_{eff}为出水中总磷浓度,mg/L;Q为进水量,10⁴ m³/d。

根据得到的武汉市中心城区污水处理厂成本模型,分别通过2019年—2020年二郎庙、南太子湖和三金潭污水处理厂的水质数据进行模型核验,实际的动力费、原材料购置费、污泥处置费及变动成本和模型数据分别见表1~3。

从二郎庙、南太子湖和三金潭3座污水处理厂模型核算的结果可以发现,模型计算的动力费、原材料购置费、污泥处置费及变动成本中,动力费的计算结果与实际动力费比较接近,污泥处置费的差别较大,可能是因为各污水厂处理工艺和设备处理效率存在较大的差异,但该模型的结果能从一定程度上反映出实际的动力费。

表 3 三金潭污水处理厂基于水质指标的模型成本与实际成本

Tab.3 Model cost based on water quality indexes and actual cost in Sanjintan Sewage Treatment Plant 元

时 间	实际费用				模型计算费用			
	动力费	原材料购置费	污泥处置费	变动成本	动力费	原材料购置费	污泥处置费	变动成本
2019年3月	1 884 647	1 576 649	1 941 300	5 402 596	1 956 569	1 556 377	1 409 183	4 922 129
2019年4月	2 195 963	665 435	730 739	3 592 137	1 840 465	1 901 521	1 301 988	5 043 974
2019年5月	2 263 991	660 447	179 609	3 104 047	2 030 808	1 894 561	1 345 356	5 270 725
2019年6月	2 752 884	731 764	1 950 232	5 434 880	1 629 968	1 385 713	1 405 869	4 421 550
2019年7月	2 657 032	715 020	118 094	3 490 146	1 910 299	1 660 503	1 402 960	4 973 762
2019年8月	2 753 953	849 102	729 673	4 332 728	1 721 372	1 512 541	1 408 956	4 642 869
2019年11月	2 357 478	1 576 595	631 223	4 565 296	1 909 259	1 409 565	1 408 869	4 727 693
2019年12月	2 305 911	1 852 852	2 678 501	6 837 264	2 197 126	1 620 360	1 402 960	5 220 446

2.2 综合按效付费模型

基于二郎庙、南太子湖、三金潭、沙湖、落步嘴、龙王嘴、汤逊湖、黄浦路和黄家湖9座污水处理厂2018年—2020年三年的数据,选取进水BOD₅、COD、氨氮和总磷浓度与污水处理厂变动成本(动力费、原材料购置费和污泥处置费总和),尝试建立方程模型。结果发现污水厂处理1 m³污水的变动成本与进水BOD₅浓度之间能够建立二次方程模型,具体如图2所示。

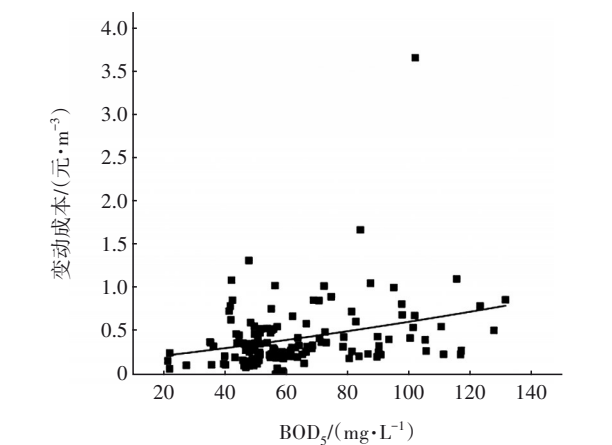


图2 9座污水处理厂变动成本与进水BOD₅浓度的关系

Fig.2 Relationship between variable cost and influent BOD₅ concentration of nine sewage treatment plants

数学方程见式(4)。

$$\text{变动成本} = 0.150 + 0.003\,8 \times \text{BOD}_{\text{in}} + 0.000\,008 \times \text{BOD}_{\text{in}}^2 \quad (4)$$

式中:BOD_{in}为进水生化需氧量浓度,mg/L。

从方程模型可知,当BOD₅≥80 mg/L时,污水厂的变动成本随着进水BOD₅浓度的升高而增加。根据武汉市9座污水处理厂的变动成本与总成本可知,变动成本占总成本的平均比例为0.37,因此得

到按效付费区间和付费金额,见表4。当实际进水BOD₅浓度≥80 mg/L时,不需要额外支付扣费金额,污水处理总成本为1.387 0元/m³(武汉市水处理价格);当实际进水BOD₅浓度从80 mg/L变为50 mg/L时,每降低5 mg/L,变动成本分别扣减0.026 0、0.025 5、0.025 1、0.024 7、0.024 2和0.023 8元/m³。

表4 基于进水BOD₅浓度的按效付费区间和付费金额

Tab.4 Pay for performance interval and payment amount based on influent BOD₅ concentration

实际进水BOD ₅ 浓度/(mg·L ⁻¹)	扣费金额/(元·m ⁻³)	变动成本/(元·m ⁻³)	污水处理总成本/(元·m ⁻³)
160<BOD ₅ ≤180	0.728 7	0.304 8	1.969 5
140<BOD ₅ ≤160	0.673 6	0.249 7	1.820 4
120<BOD ₅ ≤140	0.616 1	0.192 2	1.665 1
100<BOD ₅ ≤120	0.555 8	0.131 9	1.502 2
80<BOD ₅ ≤100	0.492 1	0.068 2	1.329 9
BOD ₅ =80	0.423 9	0	1.145 7
75<BOD ₅ <80	0.406 0	0.017 9	1.097 4
70<BOD ₅ ≤75	0.387 7	0.036 2	1.048 0
65<BOD ₅ ≤70	0.369 0	0.054 9	0.997 4
60<BOD ₅ ≤65	0.349 8	0.074 1	0.945 4
55<BOD ₅ ≤60	0.330 1	0.093 8	0.892 0
BOD ₅ ≤55	0.309 7	0.114 2	0.837 0

2.3 水量、水质、污染物削减量按效付费模式

2.3.1 月污水处理服务费实际拨付额度

按效付费模式一(水量处理考核):

$$F = Q \times P \times J_1 - W \quad (5)$$
$$J_1 = \text{污水厂运维考核得分} / 100 + 0.02 \quad (6)$$

式中:F为月污水处理服务费实际拨付额度,元;Q为月度污水处理量,m³;P为当年污水协议处理基本价格,元/m³;J₁为水量付费系数;W为各类异常运维情形费用扣减,元。

按效付费模式二(污染物削减):

$$F = Q_{\text{COD}} \times P_{\text{COD}} \times J_2 - W \tag{7}$$

$$Q_{\text{COD}} = \text{月处理水量} \times (\text{月均进水COD浓度} - \text{月均出水COD浓度}) \tag{8}$$

$$J_2 = \text{月度运维考核得分} / 100 + 0.02 \tag{9}$$

式中: F 为月污水处理服务费实际拨付额度,元; Q_{COD} 为 COD 月度削减当量, t; P_{COD} 为 COD 削减当量当年协议处理基本价格, 元/t; J_2 为污染物削减付费系数; W 为各类异常运维情形费用扣减, 元。

2.3.2 两种付费模式模拟分析

① 模拟指标选取

按效付费模式一的计算指标包括月度污水处理量 Q 、当年污水协议处理基本价格 P 和水量付费系数 J_1 , 分别按照 2019 年污水厂上报月度数据、1.1 元/ m^3 、根据运维考核评价指标及得分(水量模式付费系数 J_1) 来确定污水厂评价指标得分。模拟计算时不考虑异常情形减扣费用 W ; 付费系数打分中评议指标, 汉西、汤逊湖、南太子湖及三金潭污水处理厂以实际调研结果为准, 其余污水处理厂取这四者的平均值(14 分)。

按效付费模式二的计算指标包括月度污染物削减当量 Q_{COD} 、污染物削减协议处理基本价格 P_{COD} 和污染物削减付费系数 J_2 , 分别按照 2019 年污水厂上报月度进出水水质数据、污染物削减协议价格=

年处理总水量 \times 当年污水协议处理基本价格/年度污染物削减总量、根据运维考核评价指标及得分(污染物削减模式付费系数 J_2) 来确定污水厂评价指标得分。模拟计算时不考虑异常情形减扣费用 W ; 付费系数打分中评议指标, 汉西、汤逊湖、南太子湖及三金潭污水处理厂以实际调研结果为准, 其余污水厂取该四者的平均值(14 分)。

② 模拟结果分析

2019 年排水公司实际污水处理单价为 1.1 元/ m^3 , 汉西污水厂实际污水处理单价为 1.527 元/ m^3 , 市级财政资金共支付污水处理服务费约为 11.6 亿元。本次模拟评估计算时, 排水公司及汉西污水厂的污水处理单价均按 1.65 元/ m^3 核算, 单位 COD 削减量按照 8 800 元/t 核算。从单个污水处理厂的年度费用来看, 按效付费模式二计算污水处理服务费对于进水浓度的变化较为敏感, 即进水浓度高的污水厂, 按效付费模式二计算费用 > 按效付费模式一计算费用; 进水浓度低的污水厂, 按效付费模式二计算费用 < 按效付费模式一费用。两种模式模拟年度应付费用结果见表 5, 其中提质后进水 COD 浓度为 220 mg/L , 进水 BOD_5 浓度为 80 mg/L , 出水浓度维持现状; 南太子湖污水厂现状进水 COD 超过 220 mg/L , 无需提升进水 COD 浓度; 进水浓度提升倍数 = (220 - 现状进水浓度)/现状进水浓度。

表 5 两种模式模拟年度应付费用结果

Tab.5 Results of annual accrual expense of two models

项 目	按量付费			按效付费模式一			按效付费模式二				
	年处理水量/ 10^8 m^3	费用(按 1.1 元/ m^3 计算)/ 亿元	费用(按 1.65 元/ m^3 计算)/ 亿元	进水 COD 浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	现状费用/亿元	提质后费用/亿元	COD 浓度差/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	年度 COD 总削减量/ 10^4 t	现状费用/亿元	提质后 COD 进水浓度提升倍数/倍	提质后费用/亿元
二郎庙污水厂	0.97	1.07	1.60	149	1.45	1.51	138	1.34	1.18	0.7	1.85
三金潭污水厂	1.91	2.10	3.15	143	3.18	3.29	132	2.52	2.28	0.7	3.63
黄浦路污水厂	0.30	0.33	0.49	123	0.48	0.49	108	0.32	0.28	1.0	0.56
南太子湖污水厂	1.22	1.34	2.01	286	2.01	2.08	270	3.29	2.95	0	2.27
龙王嘴污水厂	1.01	1.11	1.66	192	1.66	1.72	178	1.79	1.61	0.3	1.89
汤逊湖污水厂	0.34	0.38	0.57	222	0.56	0.58	206	0.71	0.63	0.1	0.64
黄家湖污水厂	0.73	0.80	1.20	194	1.19	1.24	180	1.32	1.16	0.3	1.37
落步嘴污水厂	0.39	0.43	0.64	167	0.63	0.65	153	0.59	0.52	0.5	0.73
沙湖污水厂	0.59	0.65	0.97	106	0.94	0.97	92	0.54	0.47	1.4	1.11
合计	7.46	8.21	12.29		12.10	12.53		12.42	11.08		14.05

由于全国各地县以上城市普遍建成了城镇污水处理厂, 在实际运行管理中, 大多遇到了进水浓

度偏低的现象, 且在南方城市更加明显, 即 COD 进水浓度在 50~80 mg/L 之间, 远低于设计指标要求,

致使生化系统的活性污泥无法正常生长,污泥絮体细小难以沉淀,活性污泥量不断减少,从而导致整个污水处理系统难以正常运转。同时,对于截流式合流制及截流式分流制污水处理系统,雨季超量的雨水、地下水及截流水进入系统后,导致雨季污水处理厂进水浓度下降,水量增加,污水处理厂超过设定处理水量,超负荷运行。因此需要提高污水处理厂进水COD浓度。从提质后总费用来看,按效付费模式二提质费用增量较大,二郎庙、三金潭、黄浦路、南太子湖、龙王嘴、汤逊湖、黄家湖、落步嘴、沙湖污水处理厂的费用增量分别为0.78、1.53、0.23、0.93、0.78、0.26、0.57、0.30和0.46亿元,激励效果较大;按效付费模式一提质费用增量较小,分别为0.44、1.19、0.16、0.74、0.61、0.20、0.44、0.22和0.32亿元,增量较小,激励效果逊于按效付费模式二,但有利于控制污水处理服务费的波动范围。

2.4 讨论

2.4.1 与变动成本关联的按效付费模式

将武汉市10座污水处理厂进出水水质、处理水量等指标与变动成本(动力费、原材料购置费和污泥处置费)构建方程模型,结果发现,污水处理厂的处理水量与变动成本之间不存在显著的相关性,这与王佳伟等人^[7]的研究结果一致。污水处理厂动力费、原材料购置费、污泥处置费与进出水水质之间没有明显的相关性。同时动力费与氨氮削减量、原材料购置费与总磷削减量均呈线性正相关,说明武汉市主城区污水处理厂动力费的来源主要与处理有机物所需供氧费用有关,供氧设备所需电耗为动力费的主要组成。原材料购置费与总磷削减量呈线性正相关可能是因为进水总磷浓度较高,需要通过投加絮凝剂等来降低总磷含量。污泥处置费能与进水总磷浓度建立三次方程模型,当进水总磷浓度超过4 mg/L时,污泥处置费随进水总磷浓度的升高而增加。说明投加絮凝剂产生的沉淀污泥和剩余污泥的量较大,这与进水总磷浓度具有一定的关系。将二郎庙污水处理厂和南太子湖污水处理厂的各类成本与水质指标、处理水量和设计规模构建方程模型,结果发现,由于各污水处理厂的污水处理工艺和进水水质特征不同,导致各类成本的模型结果差异较大。因此,在方便政府支付污水处理费用的基础上,如果能采用“一厂一策”的付费模式具有更高的准确性和实用性。

2.4.2 综合按效付费模型

由于污水处理管网覆盖率低、地下水入渗、雨污错接与分流不彻底、化粪池与旱厕影响、管道沉积、自备水源等因素导致的污水厂进水污染负荷率低是城市生活污水处理绩效较低的主要原因。在进水污染物负荷低的背景下,污水厂为保证处理效果,只能接纳该类型进水造成运行成本的增加,由政府集中采购式的污水处理费用无法满足污水处理企业的正常运行^[8]。基于进水BOD₅浓度与变动成本构建的模型方程适合于处理水量大、BOD₅和COD等浓度偏低、可生化性差的污水处理厂。由于进水可生化性差,污水处理需要额外投入其他支出。将该综合按效付费模型作为参考,在综合按效付费模型得出的处理成本基础上,补偿与污水处理企业实际处理费用差值的方法是一种适合于低污染负荷进水特征且容易执行补偿的按效付费模式。

2.4.3 水量、水质、污染物削减量按效付费模式

水量模式(月度处理水量×单位水处理量协议价格×绩效系数)是基于传统污水处理的付费模式,单位水处理量协议价格有现状基础,且与污水厂现状的污水处理服务费支付方式更加贴合,易于核算。在传统污水付费模式上,增加绩效考核指标,其包含污水收集处理全过程,易于准确评估污染物进厂浓度等收集系统运行效果、污染物削减等污水厂运行效果及污泥处理处置效果,有利于控制污水处理服务费的波动范围。然而,由于现状管网系统的历史建设原因,污水系统中无需处理的外水(地下水入渗、雨水等)混入量难以从处理水量中剥离,按照水量作为计费核算基数不便于直接从污染物收集处理方面考核污水厂运营效果。

污染物削减模式(月度污染物削减当量×单位污染削减量协议价格×绩效系数)是以污染物总量削减为核心,更加符合环境保护及水处理的目的。另外,污染物削减量是污水厂运行效果的关键因素,对污染物削减量进行直接量化付费,极大地贴合“按效付费”的目的。按效付费模式二计算污水处理服务费对于进水浓度的变化较为敏感,激励代价大,效果显著。但与传统模式差异大,关于单位污染物削减量协议价格的研究基础欠缺,难以界定。且不同污染物的月度削减量差异大,具体以哪一种污染物作为考核目标与现状政策、污染物削减成本等诸多因素有关,不易抉择。

3 结论

武汉市污水处理厂变动成本与进水浓度构建的按效付费理论模型采用了南太子湖、三金潭和二郎庙污水处理厂的水质参数和实际处理成本,发现模型计算的电力费、原材料购置费、污泥处置费及变动成本中,电力费的结果与实际成本比较接近,污泥处置费的差别较大,可能是因为各污水厂处理工艺和设备处理效率存在较大的差异,该模型的结果能从一定程度上反映出实际的电力成本,为优化模型的准确性和实用性,建议考虑实行“一厂一策”,并详细核算污水厂工艺和工况的电耗成本及各项药剂费用。综合按效付费模型适用于进水 BOD_5 较低的污水处理厂运行成本定价。与水量、水质、污染物负荷削减关联的按效付费模式中,相比于水量模式,污染物削减模式的处理成本随进水浓度的变化表现得较为敏感,同时污染物削减模式提质费用增量较大,激励效果更好。一方面通过分析武汉市污水厂处理成本和污染物削减等指标之间的关系,能够确定影响主要处理成本的因素,如进出水污染物浓度、进水量或污染物削减量等;另一方面,将这些影响因素纳入处理成本与水质指标的模型中,可加强武汉市污水处理设施运行和污染物削减评估考核,以期建立武汉市污水处理厂监控平台的建设提供参考。

参考文献:

- [1] 傅涛,张丽珍,常杪,等. 城市水价的定价目标、构成和原则[J]. 中国给水排水, 2006, 22(6): 15-18.
FU Tao, ZHANG Lizhen, CHANG Miao, *et al.* Target, structure, and principle for pricing of water [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22 (6): 15-18 (in Chinese).
- [2] 刘雪梅,何逢标. 基于成本性态与CVP法的污水处理企业经济分析[J]. 中国给水排水, 2006, 22(14): 83-85.
LIU Xuemei, HE Fengbiao. Economic analysis of sewage treatment enterprises based on cost behavior analysis and CVP method [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(14): 83-85 (in Chinese).
- [3] 周斌. 华东地区城市污水处理厂运行成本分析[J]. 中国给水排水, 2001, 17(8): 29-30.
ZHOU Bin. Analysis on the operating cost of urban wastewater treatment plant in East China region [J]. China Water & Wastewater, 2001, 17 (8): 29-30 (in Chinese).
- [4] SCHULZ A, OBENAU F, EGERLAND B, *et al.* Elimination costs for different wastewater compounds [J]. Water Science and Technology, 2003, 47 (12): 119-124.
- [5] ONNERTH T B, NIELSEN M K, STAMER C. Advanced computer control based on real and software sensors [J]. Water Science and Technology, 1996, 33 (1): 237-245.
- [6] SAMUELSSUN P, HALVARSSUN B, CARLSSON B. Cost-efficient operation of a denitrifying activated sludge process [J]. Water Research, 2007, 41 (11): 2325-2332.
- [7] 王佳伟,张天柱,陈吉宁. 污水处理厂COD和氨氮总量削减的成本模型[J]. 中国环境科学, 2009, 29 (4): 443-448.
WANG Jiawei, ZHANG Tianzhu, CHEN Jining. Cost model for reducing total COD and ammonia nitrogen loads in wastewater treatment plants [J]. China Environmental Science, 2009, 29 (4): 443-448 (in Chinese).
- [8] 周长青,吴学峰. 城市污水处理收费现状与建议[J]. 建设科技, 2009(1): 40-41.
ZHOU Changqing, WU Xuefeng. Urban sewage treatment charges in the status quo and recommendations [J]. Construction Science and Technology, 2009 (1): 40-41 (in Chinese).

作者简介:朱敏(1980-),女,湖北武汉人,硕士,高级经济师,主要研究方向为生态环境领域项目策划、投融资、建设和运维绩效管理全生命周期咨询。

E-mail:598198291@qq.com

收稿日期:2023-10-25

修回日期:2023-12-03

(编辑:任莹莹)