

彭颖, 方蔼琳, 陈思. 我国城镇污水处理按效付费指标体系的探讨[J]. 净水技术, 2025, 44(1): 26-32, 44.

PENG Y, FANG A L, CHEN S. Discussion on the index system of pay-for-performance for urban wastewater treatment at home[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(1): 26-32, 44.

我国城镇污水处理按效付费指标体系的探讨

彭颖^{1,2,*}, 方蔼琳^{1,2}, 陈思^{1,2}

(1. 重庆设计集团有限公司市政设计研究院, 重庆 401120; 2. 重庆市海绵城市建设工程技术研究中心, 重庆 401120)

摘要 【目的】为推动污水处理行业健康持续发展, 顺应国家关于建立按效付费机制的政策导向, 研究旨在分析全国各城市污水处理绩效考核的现状 & 国内相关研究进展, 设计科学的绩效考核思路。【方法】研究首先通过文献综述和现状分析, 明确了当前污水处理绩效考核的薄弱环节。随后, 设计了一套包含污染物削减量、进水五日生化需氧量 (BOD₅) 等重要指标参数的绩效考核指标体系。为进一步验证该指标体系的可行性, 研究收集了全国 70 余个污水处理厂的运行数据, 并依据所设计的按效付费指标体系进行了大规模试算。【结果】在某污水厂的试算中, 发现最差工况下按效付费金额相较于传统的按水量付费金额, 差异比例达到了 -18.30%, 显示出按效付费机制对低效处理的惩罚力度。而在对 70 余个污水厂的全面试算中, 结果显示按效付费机制在激励污水处理企业提升效能方面具有显著潜力。【结论】研究所采用的按效付费指标体系具有一定的可操作性和推广价值, 能够为污水处理按效付费的实施和可持续发展提供重要参考。通过引入这一机制, 激励污水处理企业提升处理效率和质量, 形成良性竞争氛围, 有望推动我国污水处理行业向更加科学、高效、可持续发展的方向发展, 为美丽中国建设贡献更多力量。

关键词 污水处理 按效付费 绩效考核 指标体系 污染物削减量

中图分类号: TU992 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)01-0026-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.01.004

Discussion on the Index System of Pay-for-Performance for Urban Wastewater Treatment at Home

PENG Ying^{1,2,*}, FANG Ailing^{1,2}, CHEN Si^{1,2}

(1. Chongqing Municipal Design Institute of Chongqing Design Group Co., Ltd., Chongqing 401120, China;

2. Sponge City Construction Engineering Technology Research Center of Chongqing, Chongqing 401120, China)

Abstract [Objective] To foster sustainable wastewater treatment development and align with national pay-for-performance policies, this study aims to analyze current performance evaluation and domestic research trends, designing a scientific approach. [Methods] The study first conducts a literature review and an analysis of the current situation, then designed the idea of performance assessment and established an indicator system including the important index parameters such as pollutant reduction and influent biochemical oxygen demand after 5 days (BOD₅). The operational data of more than 70 WWTPs in China are collected, and a large-scale trial calculation was carried out according to the pay-for-performance indicator system. [Results] Taking one WWTP as an example for trial calculation, the result showed that in the worst working condition, the difference ratio between the pay-for-performance and the pay for capacity reaches -18.30%. The results of trial calculations conducted at over 70 WWTPs showed the potential of pay-for-performance in motivating wastewater treatment enterprises to improve their performance. By introducing this mechanism, we aim to motivate wastewater treatment enterprises to enhance their treatment efficiency and quality, fostering a beneficial competitive atmosphere. This, in turn, is expected to propel China's wastewater treatment industry onto a more scientific, efficient, and sustainable path, ultimately bolstering its contribution to the construction of beautiful China. [Conclusion] The index system adopted in this study has certain operability and popularization value, and can provide reference for the implementation and sustainable

[收稿日期] 2024-07-02

[基金项目] 重庆市建设科技计划项目(城科字 2019 第 1-5-4 号)

[通信作者] 彭颖(1990—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为市政工程, E-mail: 252172629@qq.com。

development of the pay-for-performance of urban wastewater treatment.

Keywords wastewater treatment pay-for-performance performance assessment index system pollutant reduction

近年来,随着我国环境污染治理力度的加大,污水处理行业取得了显著进步,污水处理能力得到了质的飞跃。长期以来,我国普遍采用的按水量付费模式在污水处理市场的发展中逐渐显露出局限性,如进水水质偏低、污染物削减效率低下、污水厂运行过载等问题。为应对这些挑战,国家和地方政府开始积极探索并实施按效付费机制,以促进污水处理行业的健康发展。按效付费,就是按照污染物削减量等污水处理实际绩效向污水处理企业支付污水处理费,实现奖优罚劣,以评促考,以质论价,提高排水

和污水处理系统效能。

1 按效付费研究现状

1.1 政策导向

近年来,我国政府高度重视污水处理行业的付费机制改革,出台了一系列政策文件以推动按效付费模式的实施。自 2020 年起,国家发展改革委、财政部、住房城乡建设部、生态环境部、水利部等部委多次联合发文(表 1),明确提出建立与污染物削减量等挂钩的按效付费机制,鼓励污水处理企业提高处理效率和服务质量。

表 1 按效付费相关污水收费政策

Tab. 1 Sewage Charge Policy of Pay-for-Performance

内容	发文部门	文件
建立与处理水质、污染物削减量等服务内容挂钩的污水处理服务费奖惩机制	国家发展改革委、财政部、住房城乡建设部、生态环境部、水利部	《关于完善长江经济带污水处理收费机制有关政策的指导意见》(发改价格[2020]561号)
推广按照污水处理厂进水污染物浓度、污染物削减量等支付运营服务费	国家发展改革委、住房城乡建设部	《城镇生活污水处理设施补短板强弱项实施方案》(发改环资[2020]1234号)
鼓励建立运营服务费与污水处理厂进水污染物浓度、污染物削减量挂钩、按效付费机制	国家发展改革委、住房城乡建设部	《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》(发改环资[2021]827号)
推动建立污水处理服务费与污水处理厂进水污染物浓度、污染物削减量、出水水质、污泥无害化稳定化处理效果挂钩的按效付费机制	国家发展改革委、住房城乡建设部、生态环境部	《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》(发改环资[2023]1714号)

1.2 各地实施情况

目前,国内不少城市已经开始实践按效付费模式。一些城市通过实施厂网一体化运营管理,明确了政府和社会资本合作模式(PPP)项目的按效付费机制。还有一些城市虽然未实现厂网一体化,但是也在逐步建立与处理水质、污染物削减量等服务内

容挂钩的污水处理服务费奖惩机制。

2014 年,杭州出台《杭州市主城区污水处理费拨付管理办法(试行)》,要求按照污水处理总量、出水水质、污水设施运维考核评价结果确定拨付费用,设立了表 2 中式(1),将污水处理费实际拨付额度(F)直接与绩效考核结果(J)挂钩。

表 2 付费公式优缺点对比

Tab. 2 Comparison of Advantages and Disadvantages of Payment Formulas

付费公式	结算标准	优缺点
$F=QPJ$ (1)	$Q、R$ 等综合考虑	优点: Q 的单位运营成本依据清晰;考核全面, J 既包含厂网泥运行处理效能,也考虑污水厂运营成本,“功劳”“苦劳”兼备;与现有付费体系存在延续,较好施行
$F=QP$ (2)	Q	优点: Q 的单位运营成本依据清晰,能通过水费、电费、材料费等找到合理的定价 ^[1-2] 缺点:考量标准单一,未体现处理效能差异
$F=RP'$ (3)	R	优点:充分体现污染物削减效能 缺点:对现有付费体系颠覆较大,标准 R 、标准工况的界定复杂, R 的单位运营成本难以核定

注: P 表示支付基价, Q 表示处理水量, P' 表示新的支付基价, R 表示污染物削减量。

2015 年,北京市水务局与北京排水集团签署《北京市中心城区污水处理和再生水利用特许经营服务协议》,明确了绩效考核内容,包括雨污水管网

养护质量、泵站运行维护质量、再生水厂运行质量、污泥处置厂运行质量等。

2019 年,上海出台《上海市城镇污水处理厂监

督考核实施细则》,规定了绩效评价的具体评价方法,绩效评价指标包含水量指标、水质指标、主要污染物削减指标、污泥处理指标、电耗指标等。

2019年,南宁出台《南宁市城市污水处理特许经营服务绩效考核办法》,考核污水处理达标情况(污水处理量、 COD_{Cr} 削减量、污水处理质量、污泥处置等)、污水处理厂运行与管理情况(安全生产等)、污水管网运行情况、污水处理设施项目建设管理情况、应急管理情况、内部管理制度等多类指标。

2024年,湖南出台《湖南省城镇污水管网建设运行管理若干规定》,要求排水主管部门推行污水处理绩效付费管理制度,将污水处理厂进水污染物浓度、污染物削减量和污泥无害化处理率等指标纳入考核范围。

1.3 国内研究现状

在学术领域,众多专家学者对污水处理行业的绩效考核进行了深入研究,从不同角度提出了绩效考核的框架和方法。徐岩等^[3]提出绩效考核方法应包括:污水处理质量、污泥处置质量、运行管理、监督管理、财务绩效。陈婷婷等^[4]提出污水厂的综合效能包括处理成本、环境效益、运行情况和管理水平等多方面指标。熊芹^[5]以PPP项目中污水处理类为例,构建出定量与定性相结合的绩效体系。卢静等^[6]将污水处理PPP项目绩效考核指标分为产出、效果、管理,其中占比为80%的产出包括了污水处理负荷率、水质达标率、污泥处置质量、再生水水质达标等指标。施浩川等^[7]针对武汉市污水处理服务费按效付费模式进行研究,提出了详细的绩效考核细则,包括水量指标、水质指标、污染物削减指标、污泥指标。

这些研究不仅为政府制定政策提供了理论支持,也为污水处理企业优化运营提供了实践指导。文章优先参考国家、行业相关政策标准、案例应用,如《城镇污水处理工作考核暂行办法》(建城[2017]143号)中“城镇污水处理工作考核评分细则”以及《城镇污水处理厂运营质量评价标准》(CJJ/T 228—2014),同时结合学术领域各项研究,基于适度模仿、因地制宜的原则,经过思考提出了绩效考核思路和指标体系。

2 指标体系设计

2.1 付费模型

在探讨按效付费模式时,核心在于明确“效”的

定义。对于城镇污水处理厂而言,“效”意味着高效收集所属区域的污水,并将其处理至符合既定标准的水质。传统的付费模型[式(2)]主要依据 Q 计费,这无法全面反映污水收集与处理的效能。随着污水处理技术的不断进步,各城市污水厂的处理能力已日趋完善,但部分地区仍存在污水收集不全、前端管网错混接等问题,导致大量的山水、雨水、河水进入处理系统,而真正的污水却溢流出去污染环境。

依据按“效”付费理念探讨按污染物削减量付费的方式,即式(3)。 P' 的设置颠覆了传统付费机制,从根本上改变了付费的依据和方式,对利益分配各方冲击较大,在推行过程中需克服较大阻力和不确定性。 P' 的设定需要依据污水厂在标准污染物削减量、标准工况条件下的运营成本。这存在诸多难点:一方面,标准 R 、标准工况的界定复杂,因地区排放标准、处理工艺和技术的差异而异,难以统一标准工况;另一方面,运营成本受设备折旧、能源消耗、药剂使用、维护、工资及管理费用等多种因素影响,且存在地区差异和动态变化,导致成本的精确核定困难。因此,在我国现阶段推广和实施污染物削减量计费方式存在较多挑战和难点,可实施性较差。

通过比选(表2),选择优化的按效付费模型[式(1)]。在原有基于水量的付费模式基础上,引入 J ,该系数综合考量 R 、进水浓度等关键指标,旨在实现奖优罚劣,既能促进前端实现控源截污、清污分流,又能激励污水处理厂提升运行效能。

2.2 指标体系

研究构建了一套按效付费指标体系(表3),考虑到各地污水处理情况差异,本文仅介绍通用的指标体系框架和细则设置方法。各地可在此基础上,结合实际对指标及分值进行论证和调整,每个指标可根据各城市情况设置上、下限值,以此来保障指标体系的稳定性。

指标体系包括基本指标和鼓励指标,前者主要考核污染减排、水量、水质、污泥处置等结果导向指标,分值占比较高;后者则关注运营成本、碳减排等过程导向指标,分值占比较低。 J 的设计旨在“奖优罚劣”,对 R 值高、进水水质浓度较高、运行负荷合理、运行管理水平高的污水厂给予奖励,反之则进行处罚,以此引领污水处理行业高质量发展。每一个

表 3 J 的组成示例
Tab. 3 Example of Composition of J

指标类型	考核频率	一级指标	二级指标	考核总分(100× J)
基本指标 (结果导向)	月度	污染减排指标	R	40
		水量指标	运行负荷率	10
		水质指标	出水达标率	15
		污泥指标	进水浓度	15
			污泥无害化处置率	10
鼓励指标 (过程导向)	季度	运行管理	成本控制、人员管理、安全制度等	10
			能耗管理、碳减排	5

注:本表仅为基本框架,可结合实际纳入污水集中收集率、污泥脱水率等指标,对考核得分进行调整。

指标的具体考核得分由评价得分系数×考核总分,考核总分(100× J)最高可达 105 分,为企业留有进步、激励的空间。

2.3 评分细则

2.3.1 污染物削减量(40 分)

作为“效”的核心指标, R 的评分细则尤为关键。其计算方法为进水水质指标减去出水水质指标。构建综合得分系数(M)计算如式(4)。

$$M=0.3M_{\text{COD}}+0.3M_{\text{氨氮}}+0.2M_{\text{TN}}+0.2M_{\text{TP}} \quad (4)$$

其中: M_{COD} —— COD_{Cr} 削减量评价得分系数;

$M_{\text{氨氮}}$ ——氨氮削减量评价得分系数;

M_{TN} ——TN 削减量评价得分系数;

M_{TP} ——TP 削减量评价得分系数。

污染物削减量评价得分系数如表 4 所示,评分细则可结合以下 4 种方式设置。

(1)指标选择。参照住房城乡建设部发布的《城镇污水处理工作考核暂行办法》(建城[2017]143 号)中“城镇污水处理工作考核评分细则”,针对 COD_{Cr} 、氨氮、TN、TP 主要污染物,其削减效率设定评分占比为 10 : 8 : 6 : 6,各地可结合实际构建差异化的 M 。

(2)标准设置。参考《城镇污水处理厂运营质量评价标准》(CJJ/T 228—2014)中表 3.3.3 各分项污染物削减量指数的取值^[8],结合本地区污水厂的现状污染削减效能进行设置。将本地区所有污水处理厂从高到低排列,通过内插法设置评分标准。

(3)满分标准。当设定 M 为 1 时,该标准应为所有污水处理厂需要达到的较高水平。可以选择本地区现状中前 10%~20%的污水厂所达到的削减水平作为满分标准,避免标准定得过高。例如,若本地区前 15%的污水厂在 TN 削减上能达到 $\Delta\text{TN} \geq 30 \text{ mg/L}$,则此水平可设为满分标准,即当某污水厂达到此标准时, $M_{\text{TN}}=1.0$ 。

满分标准还可以结合本地区典型污水处理厂设计标准设置(表 5)。选择本地区典型的大型污水处理厂为参照污水厂,其进水水质设计标准减去《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)^[9]中一级 A 标出水水质,两个数值的差额为设计污染物削减量,即污水处理厂需要达到满分分值的污染物削减量标准(表 4)。这个标准正好与《城镇污水处理厂运营质量评价标准》(CJJ/T 228—2014)所对应的满分标准一致。

表 4 污染物削减量评价得分系数
Tab. 4 Scoring Coefficients for Pollutants Reduction

COD_{Cr}		氨氮		TN		TP	
平均削减量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	M_{COD}	平均削减量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$M_{\text{氨氮}}$	平均削减量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	M_{TN}	平均削减量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	M_{TP}
[0,140)	0.70	[0,14)	0.70	[0,14)	0.70	[0,2.0)	0.70
[140,180)	0.75	[14,18)	0.75	[14,18)	0.75	[2.0,3.0)	0.75
[180,220)	0.80	[18,22)	0.80	[18,22)	0.80	[3.0,3.5)	0.80
[220,260)	0.85	[22,26)	0.85	[22,26)	0.85	[3.5,4.0)	0.85
[260,300)	0.90	[26,30)	0.90	[26,30)	0.90	[4.0,4.5)	0.90
[300,340)	1.00	[30,34)	1.00	[30,34)	1.00	[4.5,5.0)	1.00
[340,+∞)	1.10	[34,+∞)	1.10	[34,+∞)	1.10	[5.0,+∞)	1.10

表5 污染物削减量满分标准(单位:mg/L)
Tab. 5 Full Marks for Pollutants Reduction (Unit: mg/L)

项目	COD _{Cr}	氨氮	TN	TP
设计进水标准	350	35	45	5
一级 A 标出水标准	50	5	15	0.5
设计 <i>R</i>	300	30	30	4.5
CJJ/T 228—2014	300	30	30	4.5

(4) 下限与保底分值设置。选择本地区现状中后 10%~20% 的污水厂所达到的削减水平作为下限,当污水厂达到这个下限时,即使得分不高,也能获得一定的分数,以避免在进水浓度较低时污水厂正常运行却得不到任何分数的情况。例如,若 85% 的污水厂能达到 $\Delta\text{TN} \geq 14 \text{ mg/L}$,则此水平可设为下限,并设定当污水厂达到此标准时 $M_{\text{TN}} = 0.7$ 。

表6 运行负荷率评价得分系数
Tab. 6 Scoring Coefficients for Evaluation Operation Load Rate

运行负荷率(<1 年)	<i>M</i> (<1 年)	运行负荷率(1~3 年)	<i>M</i> (1~3 年)	运行负荷率(>3 年)	<i>M</i> (>3 年)
(60%, +∞)	1.00	(70%, +∞)	1.00	(80%, +∞)	1.00
(55%, 60%]	0.95	(65%, 70%]	0.95	(75%, 80%]	0.95
(50%, 55%]	0.90	(60%, 65%]	0.90	(70%, 75%]	0.90
[45%, 50%]	0.85	[55%, 60%]	0.85	[65%, 70%]	0.85
[0, 45%)	0.80	[0, 55%)	0.80	[0, 65%)	0.80

2.3.3 进水 BOD₅ 浓度(15 分)

进水浓度评价得分系数如表 7 所示。根据住建部《城镇污水处理提质增效三年行动实施方案(2019—2021 年)》的要求,进水 BOD₅ 质量浓度低于 100 mg/L 的污水厂应开展“一厂一策”改造,取 100 mg/L 为下限,设置保底 *M* 为 0.50。根据进水实际情况,确定不同得分梯度,例如,若某城市约 25% 的污水厂进水 BOD₅ 质量浓度高于 150 mg/L,可取 150 mg/L 满分,*M* 为 1.0。此外,为鼓励进步,若污水厂进水 BOD₅ 较上一年度有较大提升

表7 进水 BOD₅ 浓度梯度得分系数
Tab. 7 Score Coefficients for BOD₅ Concentration
Gradient in Influent

进水 BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	某城市评价 <i>M</i>	某城市不同进水浓度污水厂占比
(150, +∞]	1.0	25%
[125, 150]	0.9	19%
[100, 125]	0.7	15%
[0, 100)	0.5	41%

(5) 此外,为鼓励进步,若污水厂综合 *R* 较上一年度有较大提升(20%),可考虑得分系数提档;若污水厂综合 *R* 达到极高水平($\text{COD}_{\text{Cr}} \geq 340 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\geq 34 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \geq 34 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \geq 5.0 \text{ mg/L}$),*M* 可超过 1。

2.3.2 运行负荷率(10 分)

运行负荷率评价得分系数如表 6 所示。根据《城镇污水处理厂运营质量评价标准》(CJJ/T 228—2014)^[8],污水处理厂运行负荷率不应低于 60%,考虑到污水厂投运时间、区域人口入住等情况影响污水厂运行负荷,对于才建成投入使用的污水厂设置 60% 为满分,取 *M* 为 1.00。以 45% 为下限,设置 0.80 的保底分值。根据运行年限的不同,考核标准作出相应的调整,对建成投运时间越久的污水厂考核越严格。

(20%),可考虑得分系数提档。本浓度标准为全年平均进水 BOD₅ 浓度,但进水浓度在旱雨季波动较大,可分汛期设置不同标准。

3 指标体系试算

3.1 指标体系试算

以贵州某污水处理厂为例进行污水处理费试算(表 8),该厂设计规模为 6 万 m³/d,分析 2021 年—2023 年连续 3 年运行数据,取日工况中最不利运行工况、3 年平均值,将这些工况数据代入按效付费指标体系中进行计算。试算结果显示,不同运行工况下,按效付费金额会相应变化,而传统的按水量付费金额则保持不变,无法反映处理效能的差异。在最差工况下,按效付费金额相较于按水量付费金额的差异比例达到了-18.30%,这显示了按效付费在激励污水处理企业提升效能方面的潜力。

近年来,本研究收集了 70 余个污水处理厂的年运行数据,污水厂规模为 0.5 万~60.0 万 m³/d。通过对这些数据的大规模试算,不断调整评分分值、保底分值等参数,以确保指标体系的稳定性和敏感性。

表 8 某污水厂不同日工况污水处理费对比
Tab. 8 Comparison of Wastewater Treatment Costs under Different Daily Working Conditions in WWTP

项目	COD _{Cr} 削减量/ (mg·L ⁻¹)	氨氮削减量/ (mg·L ⁻¹)	TN 削减量/ (mg·L ⁻¹)	TP 削减量/ (mg·L ⁻¹)	进水 BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	按水量 付费/元	按效 付费/元	差额/元	差异比例
最差情况	65.00	9.00	7.00	1.00	33.6		5.882 4 万	1.317 6 万	-18.30%
平均工况	222.38	15.58	19.97	3.74	115.7	7.2 万	6.328 8 万	0.871 2 万	-12.10%
满分情况	≥300.00	≥30.00	≥30.00	≥4.50	≥150.0		7.2 万	0	0

尽管各地收水情况、污水厂运行状况各异,但总体而言,对于前端管网不完善的地区,在保持现状运维水平、进水浓度等条件不变的情况下,按效付费金额比按水量付费金额可下降 15%,即支付同等金额,按效付费比按水量付费获得的污染物削减量提升了约 15%。

3.2 优缺点分析

本按效付费指标体系有以下优点。

(1)激励和约束并存:结果导向与过程导向双管齐下,有利于提高污水处理经营和服务水平。 J 的考核得分最高可设置超过 100%,为企业留有进步、激励的空间。

(2)指标体系简单清晰:以污染物综合削减量、进水 BOD₅ 浓度、运行负荷率等关键指标为基础,指标体系简单明了,参数较易获得且数据准确,操作性强。

(3)具有一定稳定性:选择一个全年稳定运行的污水厂,根据其 1 月—12 月运行数据,计算 1 月—12 月 J 与其平均值的差异程度(即方差)。结果如表 9 所示, J 的方差小于 0.01,与污水厂运行情况高度吻合,指标体系具有较强的抗干扰能力和可靠性。此外,由于设置了保底分值和上限, J 值为 0.60~1.05,且所有指标均得到保底分的情况较为极端,避免了数值的陡升陡降,确保了指标体系的稳定性。

表 9 某污水厂评价得分系数
Tab. 9 Evaluation Score Coefficients in a WWTP

月份	综合污染物削减量		BOD ₅			运行负荷 率得分	出水达标 率得分	污泥无害化 处置率得分	运行管理 得分	最终结果	
	综合 M	得分	进水质量浓度/ (mg·L ⁻¹)	系数	得分					总得分	J
1 月	0.935	37.4	141.01	0.90	13.50	10	15	10.00	15	100.9	1.009
2 月	0.875	35.0	147.54	0.90	13.50	10	15	10.00	15	98.5	0.985
3 月	0.830	33.2	129.41	0.90	13.50	10	15	10.00	15	96.7	0.967
4 月	0.875	35.0	123.19	0.70	10.50	10	15	10.00	15	95.5	0.955
5 月	0.890	35.6	136.91	0.90	13.50	10	15	10.00	15	99.1	0.991
6 月	0.830	33.2	67.35	0.50	7.50	10	15	10.00	15	90.7	0.907
7 月	0.795	31.8	72.93	0.50	7.50	10	15	10.00	15	89.3	0.893
8 月	0.925	37.0	133.46	0.90	13.50	10	15	10.00	15	100.5	1.005
9 月	0.880	35.2	122.04	0.70	10.50	10	15	10.00	15	95.7	0.957
10 月	0.880	35.2	107.64	0.70	10.50	10	15	10.00	15	95.7	0.957
11 月	0.880	35.2	139.49	0.90	13.50	10	15	10.00	15	98.7	0.987
12 月	0.910	36.4	135.63	0.90	13.50	10	15	10.00	15	99.9	0.999

注: J 的方差为 0.001。

(4)具有一定针对性强。开展敏感度分析,分别计算评价指标发生一定变化时(如 $\Delta\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{COD}_{\text{Cr}}=20\%$), F 的相应变化率(如 $\Delta F/F$),将 2 个变化率相除得到敏感度系数(图 1)。敏感度系数并

不固定,但有一定趋势:当各项指标水平低于其保底分值对应的水平, F 相对各指标变化并不明显;当各项指标水平在保底分值对应的水平以上, F 对 BOD₅ 进水浓度最敏感,其次是 COD_{Cr} 和氨氮,这有助于

精准激励污水处理厂提升这些关键指标的处理效能。

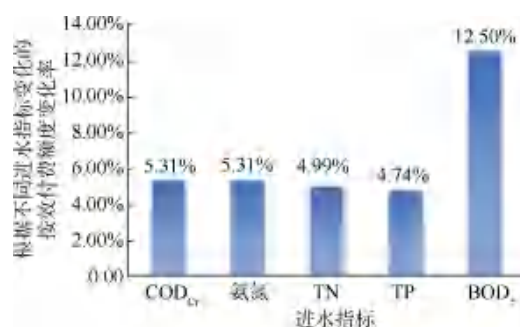


图1 某污水厂按效付费额度对各进水指标的敏感性分析
Fig.1 Sensitivity Analysis of Pay-for-Performance Quota for Various Influent Indices in a WWTP

此指标体系也存在不少需要改进的地方,例如考核指标覆盖面不够广,不能全面严谨地反馈污水处理运行的各项数据,仅以部分重要指标为代表;针对不同类型、不同规模的污水厂没有分级细化考核标准等。

4 结论与建议

(1)按效付费作为一种能够有效激励污水处理企业提升处理效能的付费方式,将成为行业发展的必然趋势。通过按效付费机制,不仅能提升污水处理系统的运行管理水平,还能促进前端管网控源截污与清污分流,推动厂网一体化进程,进而实现环境、经济和社会效益的最大化。

(2)本文建议的按效付费模型为式(1),在 J 中考核 R 、进水浓度等影响“效”的指标。本模型以进水浓度低、外水多等实际问题为导向,奖优罚劣。 J 的指标选择、权重及取值标准仅为示例,实际制定考核标准时,可根据财政实力、污水处理成本等实际情况进一步深入研究。

(3)实现污水处理“按效付费”是个长期且艰难的博弈过程,不可大搞“一刀切”。已经实现厂网一体的城市更具备“按效付费”的条件,各城市可结合实际,选择有条件的区域开展“按效付费”研究示范。政府在“按效付费”规则制定过程中,应充分考虑污水厂的运行成本和合理利润。企业在改革中应发挥责任担当,通过短期的“让利”获得长期的效益。

(4)随着污水处理行业的高质量发展,未来城镇污水处理厂所承载的社会责任将更加多元

且深远。其角色将超越单纯的污水处理范畴,而是逐步扩展到污泥的环保处理与资源化利用、管网的全面维护与管理、臭气与噪声的有效治理等多个方面。展望未来,对污水处理厂的评价体系势必将持续完善,按效付费的内容也将不断深化。

参考文献

- [1] 李向杰怡. 城镇污水处理成本控制研究[J]. 山西农经, 2022, 47(14): 138-140.
LI X J Y. Research on cost control of urban sewage treatment [J]. Shanxi Agricultural Economics, 2022, 47(14): 138-140.
- [2] 刘星梅. 污水处理企业加强成本与费用控制研究[J]. 中小企业管理与科技, 2022, 31(14): 108-110.
LIU X M. Research on strengthening cost and expense control of sewage treatment enterprises [J]. Management & Technology of SME, 2022, 31(14): 108-110.
- [3] 徐岩, 魏星星, 王利俊, 等. 城镇污水处理厂绩效指标体系构建[J]. 环境保护与循环经济, 2021, 41(3): 97-100.
XU Y, WEI X X, WANG L J, et al. Construction of performance indicator system for urban sewage treatment plants [J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2021, 41(3): 97-100.
- [4] 陈婷婷, 彭玉梅, 高亚琳, 等. 基于层次分析法的城镇污水处理厂综合效能研究[J]. 给水排水, 2021, 47(s2): 81-85.
CHEN T T, PENG Y M, GAO Y L, et al. Study on comprehensive efficiency of urban sewage treatment plants based on analytic hierarchy process [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(s2): 81-85.
- [5] 熊芹. 某县污水处理 PPP 项目绩效评价问题与改进建议[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
XIONG Q. Problems in the performance evaluation of a county's sewage treatment PPP project and suggestions for improvement [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [6] 卢静, 辛璐, 徐志杰, 等. 污水处理 PPP 项目绩效评价难点分析与指标构建[J]. 中国给水排水, 2022, 38(24): 29-34.
LU J, XIN L, XU Z J, et al. Analysis of difficulties and construction of indicators for performance evaluation of PPP projects in wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(24): 29-34.
- [7] 施浩川, 朱敏, 胡丹, 等. 武汉市污水处理服务费按效付费模式研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, 13(9): 142-145.
SHI H C, ZHU M, HU D, et al. Study on fee-for-service model for sewage treatment in Wuhan [J]. Theoretical Study of Urban Construction, 2023, 13(9): 142-145.

(下转第 44 页)

- polyacrylamide composite flocculant [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2024, 24(2): 685–694.
- [32] WANG H, SONG J L, YAN M Y, et al. Waste lignin-based cationic flocculants treating dyeing wastewater: Fabrication, performance, and mechanism [J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 874: 162383. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162383.
- [33] WU W, QI J J, FANG J, et al. One-pot preparation of lignin-based cationic flocculant and its application in dye wastewater [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2022, 654: 130082. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2022.130082.
- [34] LOU T, CUI G P, XUN J J, et al. Synthesis of a terpolymer based on chitosan and lignin as an effective flocculant for dye removal [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, 537: 149–154. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.10.012.
- [35] YUE Q Y, GAO B Y, WANG Y, et al. Synthesis of polyamine flocculants and their potential use in treating dye wastewater [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 152: 221–227. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.06.089.
- [36] ZHAO X L, WANG X J, SONG G J, et al. Microwave assisted copolymerization of sodium alginate and dimethyl diallyl ammonium chloride as flocculant for dye removal [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 156: 585–590. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.054.
- [37] WANG T, TANG X M, ZHANG S X, et al. Roles of functional microbial flocculant in dyeing wastewater treatment: Bridging and adsorption [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, 384: 121506. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121506.
- [38] TAHRAOUI H, BELHADJ A E, TRIKI Z, et al. Mixed coagulant-flocculant optimization for pharmaceutical effluent pretreatment using response surface methodology and Gaussian process regression [J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, 169: 909–927. DOI: 10.1016/j.psep.2022.11.045.
- [39] TANG X M, FAN W, ZHANG S X, et al. The improvement of levofloxacin and tetracycline removal from simulated water by thermosensitive flocculant: Mechanisms and simulation [J]. *Separation and Purification Technology*, 2023, 309: 123027. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.123027.
- [40] SUN W Q, ZHOU S B, SUN Y J, et al. Synthesis and evaluation of cationic flocculant P (DAC-PAPTAC-AM) for flocculation of coal chemical wastewater [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2020, 99: 239–248. DOI: 10.1016/j.jes.2020.07.001.
- [41] YU Z Y, JIANG Z C, XU X X, et al. Efficient treatment of leather wastewater using a combination of CEPT and SBR with a novel flocculant [J]. *Journal of Water Process Engineering*, 2023, 57: 104575. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104575.
- [42] REN J, LI N, WEI H, et al. Efficient removal of phosphorus from turbid water using chemical sedimentation by FeCl_3 in conjunction with a starch-based flocculant [J]. *Water Research*, 2020, 170: 115361. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115361.
- [43] 于洪森, 王超, 凌威, 等. 化学絮凝法处理海产品加工中高浓度含磷废水 [J]. *水资源与水工程学报*, 2019, 30(1): 21–26.
- YU H M, WANG C, LING W, et al. Treatment of high concentration phosphorus wastewater in seafood processing using chemical flocculation [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2019, 30(1): 21–26.
- [44] LIN Z W, ZHANG C H, SUN C, et al. Treatment of high turbidity mine drainage with iron-based hybrid flocculants: Synthesis process and mechanism, and its interfacial flocculation mechanism [J]. *Separation and Purification Technology*, 2023, 327: 124870. DOI: 10.1016/j.seppur.2023.124870.
- [45] 刘蕊, 吴佳瑶. 改良絮凝剂在高浊度及含油废水处理中的应用 [J]. *应用化工*, 2023, 52(9): 2566–2570.
- LIU R, WU J Y. Modified flocculants for high turbidity and oily wastewater treatment [J]. *Applied Chemical Industry*, 2023, 52(9): 2566–2570.

(上接第 32 页)

- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇污水处理厂运营质量评价标准: CJJ/T 228—2014 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for operation and maintenance quality assessment of municipal wastewater treatment plant: CJJ/T 228—2014 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2014.
- [9] 中华人民共和国环境部, 国家质量监督检验检疫总局. 城镇污水处理厂污染物排放标准: GB 18918—2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- Chinese Academy of Environmental Sciences, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China. Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant: GB 18918—2002 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.