

陶光辉, 吴艳华, 叶克, 等. 南方地区 9 座污水厂提标工艺、造价和运营成本后评估[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 196-205.

TAO G H, WU Y H, YE K, et al. Post evaluation of upgrading process, construction cost and operation cost of 9 WWTPs in Southern Area[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 196-205.

南方地区 9 座污水厂提标工艺、造价和运营成本后评估

陶光辉¹, 吴艳华^{1,*}, 叶克², 韩佩君¹, 曾静仪¹, 朱熠¹, 周颖¹

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430000; 2. 珠海水务环境控股集团有限公司, 广东珠海 519000)

摘要 随着污水处理厂尾水外排标准的提高, 国内污水处理厂陆续进行了提标改造。文中针对广东省同期建设的 9 座污水处理厂提标改造工程案例, 类比了进出厂水水质、现有生化处理工艺、提标改造工艺设计参数、地下水及地质情况等, 分析并总结了不同提标改造工艺选择的考虑因素; 同时, 根据这 9 座污水处理厂提标改造工程的结算情况, 类比了各污水处理厂提标改造工程的费用造价指标、各工艺构筑物的土建造价指标、设备费用造价指标、其他专项费用指标等, 分析并总结了不同提标改造工艺工程造价指标的大致区间范围, 为今后类似污水处理厂提标改造工程设计及决策提供参考依据。

关键词 提标改造 反硝化深床滤池 磁混凝沉淀池 高效反应沉淀池 精密过滤池 费用指标区间

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)07-0196-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.07.024

Post Evaluation of Upgrading Process, Construction Cost and Operation Cost of 9 WWTPs in Southern Area

TAO Guanghui¹, WU Yanhua^{1,*}, YE Ke², HAN Peijun¹, ZENG Jingyi¹, ZHU Yi¹, ZHOU Ying¹

(1. Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430000, China;

2. Zhuhai Water Environment Holding Group Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

Abstract With the improvement of the effluent discharge standard of wastewater treatment plants (WWTPs), domestic WWTPs have been upgraded one after another. This time, for the 9 WWTPs upgraded in Guangdong Province during the same period, the quality of the water entering and leaving the factory, the existing biochemical treatment process, the design parameters of the upgrading process, groundwater and geological conditions, etc., are compared. The consideration factors of different upgrading process selection are analyzed and summarized. At the same time, according to the settlement of the upgrading project of these 9 WWTPs, the cost index of each WWTP upgrading project, the civil construction cost index of each process structure, the equipment cost cost index, and other special cost index are compared, and the approximate range of different upgrading process engineering cost index is analyzed and summarized. It provides reference for the design and decision of similar WWTPs upgrading project in the future.

Keywords upgrading and reconstruction denitrification deep bed filter (DDBF) magnetic coagulation sedimentation tank high efficiency reaction sedimentation tank precise filter cost target range

随着《国务院关于印发水污染防治行动计划的
通知》(国发[2015]17号)和《广东省人民政府关于
印发广东省水污染防治行动计划实施方案的通知》
(粤府[2015]131号)的相继出台,要求现有城镇污

水处理设施要因地制宜进行改造,出水达到《城镇
污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一
级 A 排放标准及广东省地方标准《水污染物排放限
值》(DB 44/26—2001)的较严值^[1]。许多城镇污
水处理厂面临着出水水质不达标、处理效率低等问
题,这些问题的存在主要是原有污水处理技术不能
满足上述出水标准,因此,污水处理厂的提标改造
是污水处理行业的迫切需求。

本次针对近 4 年新建的污水处理厂提标改造

[收稿日期] 2024-01-10

[作者简介] 陶光辉(1985—),男,高级工程师,主要从事给排水
工作, E-mail: 9543429@qq.com。

[通信作者] 吴艳华,女,高级工程师,主要从事给排水工作, E-
mail: 442149670@qq.com。

工程案例,从其进出水水质要求、现有进出水水质情况、现有生化处理工艺、提标改造工艺设计参数等方面进行了类比,分析了不同提标改造工艺选择的考虑因素;同时对上述 9 座污水处理厂的提标改造工程结算进行了拆分,将 9 座污水处理厂提标改造的工程费用造价指标、各个工艺构筑物的土建造价指标、设备费用造价指标、其他专项费用等进行了类比分析,总结了相关工艺对应工程造价指标的大致区间范围;最后对 9 座污水处理

厂提标改造后增加的运营成本进行了测算,供今后类似工程参考。

1 工程案例简介

1.1 污水处理厂项目概况

各污水处理厂基本情况如表 1 所示。提标改造前,上述污水处理厂尾水排放标准执行广东省《水污染物排放限值》(DB 4426—2001)第二时段二级标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级标准 B 标准中较严的要求。

表 1 9 座污水处理厂基本情况
Tab. 1 Basic Situation of 9 WWTPs

污水处理厂	提标改造规模/ (m ³ ·d ⁻¹)	原有处理工艺	原设计进水水质 主要指标/(mg·L ⁻¹)	实际进水水质 (95%覆盖率) 主要指标/(mg·L ⁻¹)	出水水质主要 指标要求/ (mg·L ⁻¹)	对比新标准 尾水不达标 指标	提标改造工艺
1#	4.8 万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+三区廊道交替池+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} ≤ 350, BOD ₅ ≤ 180, SS ≤ 250, TN ≤ 30, TP ≤ 5	COD _{Cr} 为 324, BOD ₅ 为 151, SS 为 262, TN 为 30.2, TP 为 3.9	COD _{Cr} ≤ 40, 氨氮、SS、TP BOD ₅ ≤ 10, SS ≤ 10、氨氮 ≤ 5, TN ≤ 15, TP ≤ 0.5	氨氮、SS、TP	更换鼓风机,新建孔板格栅渠+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+紫外消毒渠
2#	5 万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+三区廊道交替池+二沉池+紫外消毒(次氯酸钠辅助消毒)	COD _{Cr} ≤ 260, BOD ₅ ≤ 150, SS ≤ 230, TN ≤ 25, TP ≤ 5	COD _{Cr} 为 192, BOD ₅ 为 65.6, SS 为 264, TN 为 23.7, TP 为 6.33		氨氮、SS、TP	更换鼓风机,新建孔板格栅渠+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+紫外消毒渠
3#	4 万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+三区廊道交替池+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} ≤ 280, BOD ₅ ≤ 150, SS ≤ 200, 氨氮 ≤ 25, TN ≤ 35, TP ≤ 5	COD _{Cr} 为 114, BOD ₅ 为 34, SS 为 168, TN 为 14.1, 氨氮为 11.2, TP 为 2.27		SS、TP	新建孔板格栅渠+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+转盘滤池+紫外消毒渠
4#	3 万+5 万	粗格栅+进水泵房+旋流沉砂池+卡罗塞尔氧化沟/奥贝尔氧化沟+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} ≤ 380, BOD ₅ ≤ 150, SS ≤ 300, 氨氮 ≤ 29, TN ≤ 35, TP ≤ 5	COD _{Cr} 为 316, BOD ₅ 为 117, SS 为 266, TN 为 33.2, 氨氮为 27.5, TP 为 3.55		氨氮、SS、TP	更换曝气系统,新建磁混凝沉淀池+紫外消毒渠
5#	8 万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+改良 AAO 氧化沟+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} ≤ 250, BOD ₅ ≤ 120, SS ≤ 260, 氨氮 ≤ 30, TN ≤ 40, TP ≤ 4	COD _{Cr} 为 167, BOD ₅ 为 54, SS 为 63.5, TN 为 17.7, 氨氮为 14, TP 为 1.8		SS、TP	新建孔板格栅渠+中间提升泵房+高效反应沉淀池+精密过滤+紫外消毒渠
6#	5 万	粗格栅+进水泵房+旋流沉砂池+卡罗塞尔氧化沟+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} ≤ 380, BOD ₅ ≤ 150, SS ≤ 340, 氨氮 ≤ 28, TN ≤ 36, TP ≤ 5	COD _{Cr} 为 142, BOD ₅ 为 46, SS 为 125, TN 为 22.2, 氨氮为 21, TP 为 3.1		SS、TP	更换曝气系统,新建孔板格栅渠+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+紫外消毒渠
7#	13.5 万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+改良 AAO 氧化沟+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} ≤ 280, BOD ₅ ≤ 170, SS ≤ 270, 氨氮 ≤ 30, TN ≤ 40, TP ≤ 5	COD _{Cr} 为 254, BOD ₅ 为 131, SS 为 225, TN 为 34, 氨氮为 27, TP 为 3.4		TN、SS、TP	生化池扩容,新建中间提升泵房+精密过滤池+紫外消毒渠
8#	3.5 万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+改良 AAO 氧化沟+二沉池+紫外消毒	COD _{Cr} 为 500, BOD ₅ 为 160, SS 为 400, TN 为 70, 氨氮为 45, TP 为 8, Cu 为 0.3	COD _{Cr} 为 317, BOD ₅ 为 82, SS 为 286, TN 为 189, 氨氮为 169, TP 为 23, Cu 为 0.27		氨氮、TN、SS、TP、Cu	新建前端磁混凝沉淀池+调节池+水解酸化池+生化池填料+反硝化深床滤池

(续表1)

污水处理厂	提标改造规模/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	原有处理工艺	原设计进水水质 主要指标/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	实际进水水质 (95%覆盖率) 主要指标/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	出水水质主要 指标要求/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	对比新标准 尾水不达标 指标	提标改造工艺
9#	10万	粗格栅+进水泵房+曝气沉砂池+改良AAO氧化沟+二沉池+紫外消毒(次氯酸钠辅助消毒)	$\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 250$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 120$ 、 $\text{SS} \leq 150$ 、 $\text{氨氮} \leq 25$ 、 $\text{TN} \leq 35$ 、 $\text{TP} \leq 5$	COD_{Cr} 为 134、 BOD_5 为 90.5、 SS 为 114、 氨氮 为 21.8、 TP 为 4.4		TN、SS、TP	新建中间提升泵房+反硝化深床滤池+紫外消毒渠

提标改造工程实施后,各污水处理厂改造前后的出水水质指标对比如表2所示。

表2 9座污水处理厂提标改造前后出水水质(1年内95%覆盖率对应值)对比

Tab. 2 Comparison of Effluent Quality before and after Upgrading and Reconstruction of 9 WWTPs (90% Coverage in One Year)

污水处理厂	提标工程 实施前后	$\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{BOD}_5/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{SS}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{TN}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{TP}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1#	提标前	28.50	5.79	14.00	6.01	10.25	0.95
	提标后	12.40	2.20	5.00	1.52	11.40	0.27
2#	提标前	30.21	5.64	16.00	5.22	10.32	1.68
	提标后	18.50	2.16	5.00	1.25	11.50	0.31
3#	提标前	37.60	6.26	17.00	2.45	8.38	0.42
	提标后	16.24	2.11	5.00	1.24	11.20	0.34
4#	提标前	35.71	5.76	15.00	10.22	13.60	1.18
	提标后	13.42	2.56	5.00	1.64	13.45	0.25
5#	提标前	29.90	6.53	10.05	1.40	7.20	0.47
	提标后	10.00	2.00	5.00	0.40	6.24	0.29
6#	提标前	35.21	4.60	13.10	6.45	13.76	0.78
	提标后	17.20	3.10	5.00	1.26	12.13	0.35
7#	提标前	30.42	3.20	8.00	4.88	18.50	1.49
	提标后	15.00	1.10	5.00	0.25	11.20	0.34
8#	提标前	26.5	3.36	15.60	0.92	12.88	0.31
	提标后	18.20	2.20	6.00	0.46	6.93	0.10
9#	提标前	19.31	6.40	12.40	0.83	20.10	0.51
	提标后	13.54	3.61	5.00	0.75	10.34	0.25

1.2 其他边界条件对比分析

对比如表3所示。

9座水厂的场地地形、用地面积、地质及地下水

表3 9座污水处理厂其他边界条件对比

Tab. 3 Comparison of Other Boundary Conditions of 9 WWTPs

污水处理厂	场地地形情况	现状占地 面积/ hm^2	可用于提标改造的 集中用地面积/ hm^2	地质情况	地下水情况
1#	地势平坦、用地紧张	5.60	1.31	地质条件良好,无软弱土层	丰富
2#	地势平坦、用地紧张	2.42	0.62	下部为25~30m深淤泥	丰富
3#	地势平坦、用地紧张	3.70	0.61	下部为35~40m深淤泥	丰富
4#	地势高差大,用地紧张	6.08	/	大部分区域土质良好,局部区域有软基	丰富

(续表3)

污水处理厂	场地地形情况	现状占地面积/hm ²	可用于提标改造的集中用地面积/hm ²	地质情况	地下水情况
5#	地势平坦、用地紧张	4.78	1.18	下部为 25~35 m 深淤泥	丰富
6#	地势平坦、用地紧张	3.09	0.38	下部为 20~25 m 深淤泥	丰富
7#	地势平坦、用地紧张	10.22	0.41	大部分区域土质良好,局部区域有软基	丰富
8#	地势平坦、用地紧张	11.00	3.01	下部为 35~45 m 深淤泥	丰富
9#	地势平坦、用地紧张	9.96	1.57	下部为 25~45 m 深淤泥	丰富

1.3 提标改造工艺

污水处理厂的提标改造,需对现有进出水水质进行分析,对现有处理构筑物处理能力复核,再针对不达标的指标拟定去除工艺。污水在生物除磷后 TP 仍不达标时,通过投加除磷药剂化学除磷后沉淀去除;污水常规处理后 SS 仍不达标时,一般采用沉淀或过滤工艺去除;污水生化处理后氨氮仍不达标而 TN 达标时,可通过增大现有生化池曝气量去除氨氮;污水生化处理后,氨氮和 TN 均不达标且超出标准数值较多时,一般通过扩增生化处理池的容积或新增后端反硝化深床滤池来解决。

上述 9 座污水处理厂尾水中 SS 和 TP 均达不到要求,部分水厂存在小频率氨氮不达标情况,8#污水处理厂尾水氨氮和 TN 长期不达标,9#污水处理厂尾水 TN 长期不达标。

对比表 1 中各污水处理厂提标改造工艺可作如下总结。

(1) 上述现状污水处理厂大多未预留深度处理工艺的水头,因此在提标改造构筑物之前或之后,设置提升泵房,本次 4#污水处理厂利用场内地形与外渠水位高差,并配合适当技术改造,充分利用污水处理厂内现有构筑物之间的富余水头,减少了提升泵房的设置。

(2) 针对 SS 和 TP 去除的提标改造工艺如下: 1#、2#、4#、6#污水处理厂采用了单一的磁混凝沉淀池,这是因为污水处理厂提标改造场地紧张,磁混凝沉淀池新工艺占地节约且出水能直接达标^[2]; 3#污水处理厂采用了磁混凝沉淀池+转盘过滤池; 5#污水处理厂采用了高效反应沉淀池+精密过滤池^[3]; 7#污水处理厂采用了单一的精密过滤池,提标工艺采用了生化池扩容及末端设置精密过滤池。目前上述污水处理厂提标改造均投入运行,出水数据显示国内外品牌的磁混凝沉淀池型出水均能稳定达标。

7#污水处理厂的单一过滤工艺,在水量稳定时可以达标,但水量波动时,出水指标稳定性变差。

(3) 针对氨氮去除的提标改造措施如下: 1#、2#污水处理厂更换了现有罗茨风机,采用了风量更大的磁悬浮鼓风机,增大生化池好氧区曝气量; 4#、6#污水处理厂将现状老旧的转盘曝气系统拆除,新建了鼓风机房并采用生化池底盘式曝气系统,增大曝气量; 8#污水处理厂将循环活性污泥工艺(CASS)改造成了移动床生物膜反应器(MBBR),并在后端设置了反硝化深床滤池。

(4) 针对 TN 去除的提标改造措施如下: 4#、6#、7#污水处理厂因 TN 超标频率较低且超标数值不大,经复核现有生化池容积后,采用了扩建缺氧池的方式增加生化池容积; 8#污水处理厂将 CASS 池改造成了 MBBR 池,并在后端设置了反硝化深床滤池; 9#污水处理厂因 TN 超标频繁且超标数值较大,采用了反硝化深床滤池工艺。

(5) 上述所有污水处理厂均新建了加药系统。

1.4 主要工艺设计参数对比分析

9 座污水处理厂提标改造的各构筑物设计参数如表 4 所示。目前 9 座污水处理厂均已通水运行,出水达标。

2 工程造价指标及差异分析

本次采用上述 9 座污水处理厂的结算数据进行类比分析。

2.1 结算费用造价指标分析

本次将 9 座污水处理厂的结算费用进行统计分析如表 5 所示。

各污水处理厂结算费用指标分析如图 1 所示,与相关标准对比分析如表 6 所示。

对比分析表 5、表 6 和图 1,可以得出以下结论。

(1) 以生活污水为主的污水处理厂提标改造,工程费用造价指标为 367.46~790.65 元/m³,多数

表 4 9 座污水处理厂提标改造构筑物设计参数对比
Tab. 4 Comparison of Designed Parameters of 9 WWTPs after Upgrading and Reconstruction

污水处理厂	提标主要构筑物	参数
1#	孔板格栅+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+紫外消毒渠	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 3.6 min, 峰值液面负荷为 21.6 m ³ /(m ² ·h)
2#	孔板格栅+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+紫外消毒渠	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 3.5 min, 峰值液面负荷为 21.8 m ³ /(m ² ·h)
3#	孔板格栅+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+转盘滤池	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 4.4 min, 峰值液面负荷为 20.5 m ³ /(m ² ·h) 转盘滤池:滤池滤速≤15 m/h, 有效过滤面积为 160 m ³ , 反冲转速为 0.5 r/min 过滤介质平均网孔直径<10 mm
4#	磁混凝沉淀池+紫外消毒渠	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 3.5 min, 峰值液面负荷为 23.6 m ³ /(m ² ·h)
5#	高效反应沉淀池+精密过滤池+紫外消毒渠	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 10 min, 峰值液面负荷为 14.08 m ³ /(m ² ·h) 精密过滤池:滤池滤速为 11 m/h, 过滤精度为 10 μm
6#	孔板格栅+中间提升泵房+磁混凝沉淀池+紫外消毒渠	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 3.5 min, 峰值液面负荷为 21.8 m ³ /(m ² ·h)
7#	扩增生化池+孔板格栅+中间提升泵房+精密过滤池+紫外消毒渠	扩增生化池:新增生化池停留时间为 52.2 min; 精密过滤池:滤池滤速为 8 m/h, 过滤精度为 10 μm
8#	前端均质池+磁混凝沉淀池+水解酸化池+生化池加填料+中间提升泵房+反硝化深床滤池+紫外消毒渠	磁混凝沉淀池:混合+絮凝 4.13 min, 峰值液面负荷为 20.12 m ³ /(m ² ·h) 改造后 MBBR 池:硝化负荷为 0.110 kg 氨氮/(m ³ ·d ⁻¹), 反硝化负荷为 0.124 kg NO ₃ ⁻ -N/(m ³ ·d ⁻¹), 气水比为 8:1 反硝化深床滤池:正常滤速为 3.7 m/h, 反硝化容积负荷为 0.36 kg NO ₃ ⁻ -N/(m ³ ·d ⁻¹)
9#	中间提升泵房+反硝化深床滤池	反硝化深床滤池:正常滤速为 6.25 m/h, 强制滤速为 9.285 m/h, NO ₃ ⁻ -N 负荷为 0.41 kg/(m ³ ·d ⁻¹)

注:3#和 9#污水处理厂利用现有紫外消毒渠的土建,更换了紫外设备。

表 5 9 座污水处理厂的结算费用及指标分析
Tab. 5 Closing Cost and Index Analysis of 9 WWTPs

污水处理厂	工程费用/元			吨水造价指标/(元·m ⁻³)			设备品牌档次
	土建工程费用	设备及安装工程费用	合计	土建工程对应造价指标	设备及安装工程对应造价指标	合计	
1#	9 694 051.53	14 414 226.61	24 108 278.14	201.96	300.30	502.26	国内一线及以上
2#	15 254 126.84	15 014 819.39	30 268 946.23	305.08	300.30	605.38	
3#	18 251 495.92	24 744 751.08	42 996 247.00	456.29	618.62	1 074.91	合资及以上
4#	20 004 060.30	37 887 726.59	57 891 786.89	250.05	473.60	723.65	国内品牌
5#	32 989 457.87	30 223 314.59	63 212 772.46	412.37	377.79	790.16	合资及以上
6#	19 622 621.94	15 550 300.27	35 172 922.21	392.45	311.01	703.46	国内品牌
7#	46 488 031.13	39 024 482.32	85 512 513.45	344.36	289.07	633.43	国内品牌
8#	84 596 614.80	57 734 375.15	142 330 989.95	2 417.05	1 649.55	4066.60	合资及以上
9#	19 864 730.15	16 881 508.93	36 746 239.08	198.65	168.82	367.46	国内品牌

集中在 605.38~790.65 元/m³;3#污水处理厂因地质条件较差、核心设备采用进口、提标改造工程工艺流程相对较长(磁混凝沉淀池+转盘过滤),导致其工程费用吨水造价指标较高,为 1 074.91 元/m³;8#污水处理厂为工业厂站,其提标改造工程费用造价

指标为 4 066.60 元/m³,为常规生活污水处理厂对应指标的 5~7 倍。

(2)1#、2#、4#污水处理厂提标改造工艺以去除 SS 和 TP 为主,磁混凝沉淀池为核心工艺。这 3 座污水处理厂提标改造的土建工程费用造价指标为

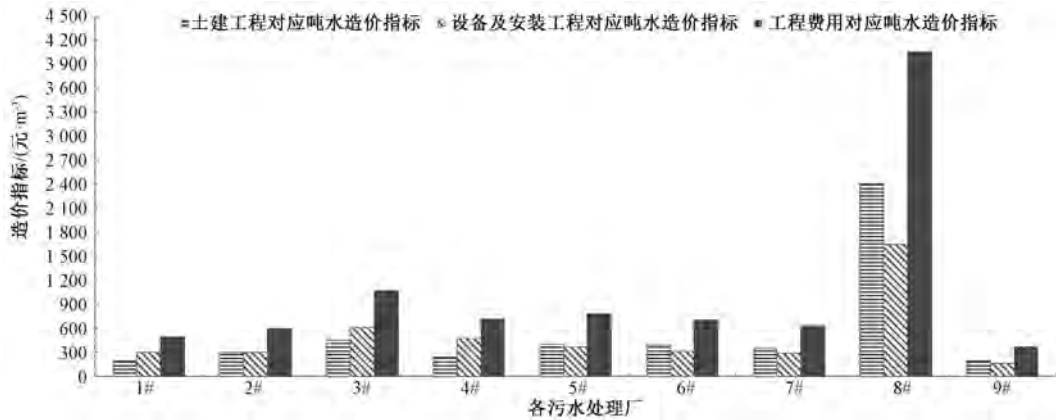


图 1 9 座污水处理厂的结算费用指标分析

Fig. 1 Analysis of Closing Cost Index of 9 WWTPs

表 6 9 座污水处理厂结算费用指标与相关标准对比分析

Tab. 6 Comparative Analysis of Closing Cost Index of 9 WWTPs and Related Standards

污水处理厂	建设规模分类	工程费用对应吨水造价指标/(元·m ⁻³)	《城市污水处理工程项目建设标准》(建标 198—2022)中工程费用对应吨水造价指标/(元·m ⁻³)	备注
1#	IV类	502.26	1 040~808	将标准中总投资×0.8 折算为工程费用指标
2#	III类	605.38	808~680	
3#	IV类	1 074.91	1 040~808	
4#	III类	723.65	808~680	
5#	III类	790.16	808~680	
6#	III类	703.46	808~680	
7#	II类	633.43	608~592	
8#	IV类	4 066.60	1 040~808	
9#	II类	367.46	608~592	

201.96~305.08 元/m³,设备及安装工程对应吨水造价指标为 300.3~473.6 元/m³。其中,2#污水处理厂土建工程费用吨水造价指标偏高,这是因为 2#污水处理厂地下有软基,新建构筑物的基坑支护及地基处理费用较 1#、4#污水处理厂高;4#污水处理厂在设备及安装工程的吨水造价指标偏高,这是因为 4#污水处理厂的设备中除了提标改造构筑物设备外,还包含了脱水机、鼓风机等设备更新改造。

(3)6#、7#污水处理厂提标改造工艺除了去除 SS 和 TP 外,还扩容改造了厂内既有的生化池系统,土建工程费用造价指标为 344.36~392.45 元/m³,设备及安装工程对应造价指标为 289.07~311.01 元/m³。两项指标均较接近。

(4)3#、5#污水处理厂提标改造主要以去除 SS 和 TP 为主,提标改造工艺为反应沉淀池+滤池,土

建工程费用造价指标为 412.37~456.29 元/m³,设备及安装工程对应造价指标 377.79~618.62 元/m³。土建工程费用吨水造价指标较接近,但设备及安装工程吨水造价指标差异较大,这是因为 3#污水处理厂采用了磁混凝沉淀池+精密过滤池作为提标改造工艺,且配套设备均为进口;5#污水处理厂采用的是高效反应沉淀池+精密过滤池且均为国产设备。

(5)8#污水处理厂为工业性质污水处理厂,提标改造除了需去除氨氮、TN、SS、TP 等常规指标外,还有重金属 Cu 需去除,其提标改造工艺是在水样中试的基础上选用^[4],采用工艺较复杂、流程较长。因此,8#污水处理厂无论土建工程费用吨水造价指标,还是设备及安装工程对应吨水造价指标均较常规生活污水处理厂指标高很多。

(6)9#污水处理厂提标改造工艺为中间提升泵房+反硝化深床滤池+紫外,土建工程费用造价指标为198.65元/m³,设备及安装工程对应造价指标168.82元/m³,两项指标均较低,这主要是因为厂区布置相对紧凑、设备均采用了国产,同时因污水处理厂规模较大,有一定的规模效应。

(7)1#、8#和9#污水处理厂的工程费用结算指标与《城市污水处理工程项目建设标准》(建标198—2022)中总投资折算后的工程费用结算指标相差较大,其他污水处理厂的指标均在标准范围内。

表7 磁混凝沉淀池土建、设备及安装工程费用对比

Tab. 7 Comparison of Civil Construction, Equipment and Installation Costs of Magnetic Coagulation and Sedimentation Tank

污水处理厂	土建工程费用/元	设备及安装工程费用/元	土建工程对应造价指标/(元·m ⁻³)	设备及安装工程对应造价指标/(元·m ⁻³)
1#	3 217 355.70	7 451 902.04	67.03	155.25
2#	3 248 363.41	7 762 397.96	64.97	155.25
3#	7 129 252.75	7 795 070.00	178.23	194.88
4#	7 733 044.67	7 705 942.53	96.66	96.32
5#	9 246 401.60	11 590 750.00	115.58	144.88
6#	4 137 129.55	4 267 456.72	82.74	85.35
8#	3 751 101.65	5 274 048.66	107.17	150.69

磁混凝沉淀池的土建费用造价指标在64.97~178.23元/m³,差距较大,主要原因在于地质条件和距离现有建筑物远近程度不同,引起了地基处理和基坑支护费用的差异。其中,3#污水处理厂新建的磁混凝沉淀池因距离现状构筑物较近,额外设置了基坑加固桩,导致土建费用较高。设备及安装工程

表8 滤池土建、设备及安装工程费用对比

Tab. 8 Comparison of Filter Tank Civil Construction, Equipment and Installation Engineering Cost

污水处理厂	土建工程费用/元	设备及安装工程费用/元	土建工程对应造价指标/(元·m ⁻³)	设备及安装工程对应造价指标/(元·m ⁻³)
3#	1 507 077.48	3 880 580.00	37.68	97.01
5#	1 228 843.88	9 673 500.00	15.36	120.92
7#	2 234 548.34	20 000 000.00	16.55	148.15

3#污水处理厂提标采用的过滤池型是转盘滤池,5#和7#污水处理厂采用的是精密过滤池,导致3#污水处理厂滤池设备价格较低,但因池型占地面积较大,导致土建造价较高。

2.2.3 反硝化深床滤池结算费用指标对比

8#、9#污水处理厂均采用了反硝化深床滤池,其土建、设备及安装工程费用对比分析如表9所示。

这是因为1#污水处理厂地质条件较好,用地紧凑,工程费用较低;8#污水处理厂为工业性质污水处理厂,超出标准;9#厂区布置相对紧凑、设备均采用了国产,造价低于标准。

2.2 各构(建)筑物造价指标对比分析

本次就9座污水处理厂提标改造工艺中相同处理构筑物的土建和设备安装费用进行类比分析。

2.2.1 磁混凝沉淀池结算费用指标对比

共7座污水处理厂采用了磁混凝沉淀池工艺,对该池型的结算费用指标分析如表7所示。

对应造价指标在85.35~194.88元/m³,大部分位于150元/m³左右,价格差距因设备品牌档次不同存在差异。

2.2.2 滤池结算费用指标对比

共3座污水处理厂采用了过滤工艺,其土建、设备及安装工程费用对比分析如表8所示。

反硝化深床滤池的占地大小,与需要去除的TN数值及污水处理厂规模有关。8#污水处理厂以工业废水为主,其TN去除数值较大,导致8#污水处理厂反硝化深床滤池占地面积大,因此其对应的土建费用吨水造价指标高。同时,8#污水处理厂反硝化深床滤池采用了进口设备,因此其设备及安装工程造价指标也较高。9#污水处理厂以生活污水为主,

表 9 反硝化深床滤池土建、设备及安装工程费用对比
Tab. 9 Comparison of Civil Construction, Equipment and Installation Costs of Denitrification Deep Bed Filter

污水处理厂	土建工程费用/元	设备及安装工程费用/元	土建工程对应造价指标/(元·m ⁻³)	设备及安装工程对应造价指标/(元·m ⁻³)
8#	10 017 922. 41	10 463 731. 70	286. 23	298. 96
9#	9 578 542. 85	11 587 602. 06	95. 79	115. 88

TN 去除数值较小,设备全部采用国产,因此其土建费用吨水造价指标和设备及安装工程造价指标均较低。

2. 2. 4 紫外消毒工艺结算费用指标对比

上述污水处理厂中,提标改造后均实现了紫外+次氯酸钠溶液联合消毒,因部分污水处理厂的

次氯酸钠溶液投加系统为现状既有,部分污水处理厂为提标改造后新增,本次仅针对紫外消毒工艺进行类比。除了 3#和 9#污水处理厂的紫外消毒渠为现状土建改造,其他 7 座污水处理厂的紫外消毒渠均为新建,其土建、设备及安装工程费用对比分析如表 10 所示。

表 10 紫外消毒渠土建、设备及安装工程费用对比
Tab. 10 Comparison of Civil Construction, Equipment and Installation Costs of UV Disinfection Channel

污水处理厂	土建工程费用/元	设备及安装工程费用/元	土建工程对应造价指标/(元·m ⁻³)	设备及安装工程对应造价指标/(元·m ⁻³)
1#	1 122 067. 55	937 910. 20	23. 38	19. 54
2#	974 819. 32	976 989. 80	19. 50	19. 54
3#	/	899 266. 67	/	22. 48
4#	777 716. 98	1 476 320. 84	9. 72	18. 45
5#	447 102. 75	2 160 000. 00	5. 59	27. 00
6#	567 108. 04	882 669. 08	11. 34	17. 65
7#	1 013 604. 25	3 040 866. 67	7. 51	22. 52
8#	155 521. 50	730 895. 10	4. 44	20. 88
9#	/	782 000. 00	/	7. 82

注:9#污水处理厂的紫外设备为部分利旧,部分新建,该厂的设备费用可不做参考。

由表 10 可知,紫外消毒渠的土建费用造价指标在 4. 44~23. 38 元/m³,差距较大,主要是地质及埋深不同引起的基坑支护及地基处理费用差异;紫外设备及安装工程对应造价指标在 17. 65~27. 00 元/m³,大部分在 22 元/m³左右,与品牌档次有关。

2. 3 其他造价指标对比

2. 3. 1 厂区管线综合造价指标对比

9 座污水处理厂提标改造工程中,厂区管线工程造价差异较大,除了与地质及管道基础处理有关外,还与现状厂区管道的修复和重建工程量有关,具体分析如表 11 所示。

表 11 厂区管线工程费用指标对比
Tab. 11 Comparison of Plant Pipeline Engineering Cost Index

污水处理厂	管线工程费用/元	对应造价指标/(元·m ⁻³)	备注
1#	4 522 517. 42	94. 22	仅提标区域管线
2#	1 556 444. 35	31. 13	
3#	3 943 862. 27	98. 60	
4#	5 959 676. 29	74. 50	
5#	14 410 183. 03	180. 13	除现状主工艺管外,全厂管线全部新建
6#	3 837 868. 73	76. 76	仅提标区域管线

(续表11)

污水处理厂	管线工程费用/元	对应造价指标/(元·m ⁻³)	备注
7#	10 990 418.40	81.41	
8#	13 171 807.22	376.34	除现状主工艺管外全厂管线全部新建
9#	4 907 504.06	49.08	仅提标区域管线

2.3.2 厂区道路工程指标对比

9座污水处理厂提标改造工程中,厂区道路工程造价指标差异较大,除了与地质及道路基础处理有关外,还与现状厂区道路的修复和重建工程量有关,具体分析如表12所示。

表12 厂区道路工程费用指标对比

Tab. 12 Comparison of WWTP Road Engineering Cost Index

污水处理厂	道路工程费用/元	对应造价指标/(元·m ⁻³)	备注
1#	640 542.53	13.34	仅提标区域道路
2#	223 757.96	4.48	
3#	2 096 425.32	52.41	
4#	2 770 367.22	34.63	
5#	18 587 994.87	232.35	全厂道路新建
6#	2 197 690.29	43.95	仅提标区域道路
7#	3 792 891.40	28.10	
8#	20 657 674.07	590.22	全厂道路新建
9#	1 485 124.19	14.85	仅提标区域道路

2.3.3 景观指标对比

9座污水处理厂提标改造工程中,厂区景观工程造价指标差异较大,是因为景观改造面积和厂貌档次要求不同,具体分析如表13所示。

表13 厂区景观工程费用指标对比

Tab. 13 Comparison of WWTP Landscape Engineering Cost Index

污水处理厂	景观工程费用/元	对应造价指标/(元·m ⁻³)	备注
1#	177 240.18	3.69	仅提标区域范围
2#	215 931.12	4.32	
3#	105 852.83	2.65	
4#	309 631.60	3.87	
5#	1 229 237.94	15.37	全厂景观新建
6#	164 806.14	3.30	仅提标区域范围
7#	304 675.46	2.26	
8#	1 410 435.38	40.30	全厂景观新建
9#	1 372 002.05	13.72	仅提标区域范围

2.3.4 电气工程造价指标

9座污水处理厂提标改造工程中,电气工程造

价指标差异较大,主要与厂区现状电气的富余容量有关,也与外电接入点远近有关。一般而言,厂区现状配电有富余的,其提标改造电气相关造价指标基本可控制在10~30元/m³,具体分析如表14所示。

表14 厂区电气工程费用指标对比

Tab. 14 Comparison of Plant Electrical Engineering Cost Index

污水处理厂	电气工程费用/元	对应造价指标/(元·m ⁻³)
1#	652 882.15	13.60
2#	506 617.64	10.13
3#	684 479.57	17.11
4#	1 885 406.28	23.57
5#	2 511 383.85	31.39
6#	3 004 058.12	60.08
7#	2 523 998.19	18.70
8#	1 618 892.20	46.25
9#	894 105.81	8.94

2.3.5 自控、仪表专业造价指标

9座污水处理厂自控、仪表造价指标差异较大,主要与新建的工艺池型个数,以及设备工艺包组费用中是否包含了部分自控、仪表部分内容有关(表15)。

表15 厂区自控、仪表工程费用指标对比

Tab. 15 Comparison of WWTP Control, Instrumentation Engineering Cost Index

污水处理厂	自控、仪表工程费用/元	对应造价指标/(元·m ⁻³)
1#	1 548 979.59	32.27
2#	1 613 520.41	32.27
3#	512 941.74	12.82
4#	3 538 789.11	44.23
5#	714 980.30	8.94
6#	962 827.55	19.26
7#	2 373 998.19	17.59
8#	4 958 968.56	141.68
9#	371 426.43	3.71

3 运营成本分析

9座污水处理厂已投入运营,根据调研,9座污水处理厂提标改造后,在原厂运营成本的基础上新增的运营成本如表16所示。

表 16 9 座污水处理厂提标改造新增运营成本
Tab. 16 New Operation Costs of 9 WWTPs after
Upgrading and Reconstruction

污水处理厂	提标改造新增运营成本/(元·m ⁻³)
1#	0.32
2#	0.32
3#	0.33
4#	0.23
5#	0.34
6#	0.32
7#	0.28
8#	1.03
9#	0.22

提标改造新增的运营成本,主要体现在新增设备的电耗、新增员工的工资、新增的投药量和污泥量^[5]上。由表 16 可知,1#、2#和 6#污水处理厂因提标改造工艺类似且规模基本相同,其新增吨水运营成本相同;4#和 7#污水处理厂因少了中间提升泵房,其新增吨水运营成本相对较低;3#和 5#污水处理厂不仅有中间提升泵房,还较其他污水处理厂提标工艺多设了过滤环节,电耗略有增加,导致新增吨水运营成本略高;8#污水处理厂提标改造工艺流程长,其投药量、电耗和人工成本均较高,导致新增吨水运营成本高;9#污水处理厂提标改造虽然有中间提升泵房,但反硝化深床滤池运行电耗低,且因碳源投加量小和规模较大,新增吨水运营成本低。

4 结论

本文对南方地区 8 座生活污水处理厂和 1 座工业污水处理厂的提标改造工艺、土建、设备及运营成本进行了对比分析和总结,可以为今后类似工程提供参考和借鉴。

(1)污水处理厂提标改造工艺的选择,需在对现状工艺和设备运行能力复核的基础上,分析需去除污染物的种类和含量,先充分挖掘现有工艺的处

理潜力,再针对性地选取相应的提标改造工艺。

(2)高效反应沉淀池不宜设置在生化池的前端,容易造成堵泥和污泥脱水难等运行问题。

(3)精密过滤池型配制 5% 质量分数的次氯酸钠溶液冲洗,能大幅度减少堵塞频率。

(4)提标改造新增的运营费用,主要分摊在二次提升的电耗、碳源投加、新增污泥量的处理和消纳方面。

参考文献

- [1] 刘扬真,刘军. 广东省地方污染物排放标准的特点[J]. 中国环境监测, 2002, 18(3): 31-33.
LIU Y Z, LIU J. Characteristics of local discharge standard of pollutants in Guangdong Province[J]. Environmental Monitoring in China, 2002, 18(3): 31-33.
- [2] 何广燕,刘辉利,黄书海,等. 城镇污水处理厂深度处理研究进展[J]. 当代化工研究, 2023, 24(3): 8-9.
HE G Y, LIU H L, HUANG S H, et al. Research progress on advanced treatment of municipal wastewater treatment plant[J]. Modern Chemical Research, 2023, 24(3): 8-9.
- [3] 包鹏,庞洪涛,曹效鑫,等. 高效沉淀池在市政污水深度处理中的应用研究进展[J]. 中国给水排水, 2023, 39(22): 17-18.
BAO P, PANG H T, CAO X X, et al. Research and application progress of high-performance sedimentation tank in domestic sewage advanced treatment[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(22): 17-18.
- [4] 刘琪,雷培树,余琴芳,等. 工业废水难降解有机物深度处理技术与设计综述[J]. 净水技术, 2024, 43(4): 34-45.
LIU Q, LEI P S, YU Q F, et al. Review on advance treatment and design of non-degradable organic matters for industrial wastewater treatment[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4): 34-45.
- [5] 王印,陶梦妮,左思敏,等. 城镇污水处理厂尾水处理技术应用研究[J]. 应用化工, 2018, 47(12): 29-33.
WANG Y, TAO M N, ZUO S M, et al. Study on tail water treatment technologies for municipal wastewater plants [J]. Applied Chemical Industry, 2018, 47(12): 29-33.

(上接第 189 页)

- [6] CHEN J, LIN Y, ZHANG Z, et al. Effect of different influent flow distribution ratios on multistage A/O process for removal of carbon and nitrogen [J]. Asian Journal of Chemistry, 2014, 26(3): 709-713.
- [7] 洪达锋. 多级 A/O+高效沉淀+反硝化深床滤池工艺研究[J]. 能源与节能, 2022(2): 87-89.
HONG D F. Technology of multi-stage A/O+ high-efficiency

- sedimentation+ denitrification deep bed filter[J]. Energy and Energy Conservation, 2022(2): 87-89.
- [8] 陈浩林,彭轶,安东,等. 分段进水多级 A/O 工艺设计计算[J]. 工业用水与废水, 2021, 52(2): 39-42, 54.
CHEN H L, PENG Y, AN D, et al. Analysis on design and calculation of step-feed multistage A/O process [J]. Industrial Water & Wastewater, 2021, 52(2): 39-42, 54.