

某污水处理厂类Ⅳ类标准提标前后的运行效能对比

马玉萍¹, 胡 香¹, 刘怡心¹, 陈杭州¹, 刘 晨², 曹怀礼²

(1. 安徽国祯环保节能科技股份有限公司, 安徽 合肥 230088; 2. 安徽建筑大学 环境与能源工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 通过对比分析巢湖流域某污水处理厂二、三期 2016 年的运行数据, 研究增加“混凝反应池+斜板沉淀池+反硝化深床滤池”深度处理工艺后系统除污效果及运行成本的变化。结果表明, 三期工程增加深度处理工艺后, 对各污染物的去除效果均有所提高, 出水 COD、氨氮、总氮、总磷浓度均值分别为 (15.6 ± 3.6) 、 (0.54 ± 0.31) 、 (2.85 ± 0.83) 、 (0.18 ± 0.05) mg/L, 满足《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB 34/2710—2016) 的要求 ($\text{COD} \leq 40$ mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 2.0$ mg/L、 $\text{TN} \leq 10$ mg/L、 $\text{TP} \leq 0.3$ mg/L)。对比二期工程, 三期工程的吨水处理费用增加了 68.04%, 其中电费和碳源药剂费增加占比分别为 56.80%、38.92%。

关键词: 巢湖流域; 城镇污水处理厂; 地表水类Ⅳ类标准; 提标改造; 运行成本

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)03-0096-05

Comparison of Operation Efficiency before and after Upgrading to Meet Quasi Class IV Standard of Surface Water in a WWTP

MA Yu-ping¹, HU Xiang¹, LIU Yi-xin¹, CHEN Hang-zhou¹, LIU Chen²,
CAO Huai-li²

(1. Anhui Guozhen Environmental Protection & Technology Joint Stock Co. Ltd., Hefei 230088, China;
2. School of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: Based on comparing the operation data between the second and the third phase of a WWTP in Chaohu Basin during 2016, variation of pollutants removal efficiency and operation cost after adding the advanced treatment process (coagulation reaction tank + inclined plate sedimentation tank + deep bed denitrification filter) was studied. The results showed that the removal efficiency of different pollutants was improved after the operation of the advanced treatment process in the third phase project. The average concentration of effluent COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN and TP were (15.6 ± 3.6) mg/L, (0.54 ± 0.31) mg/L, (2.85 ± 0.83) mg/L and (0.18 ± 0.05) mg/L respectively, which met the *Discharge Limits of Major Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants & Industries in the Chaohu Basin* (DB 34/2710 - 2016) ($\text{COD} \leq 40$ mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 2.0$ mg/L, $\text{TN} \leq 10$ mg/L, $\text{TP} \leq 0.3$ mg/L, respectively). Compared with the second phase project, the treatment cost per ton wastewater of the third phase project was increased by 68.04%, in which the electric bill and carbon source cost accounted for 56.80% and 38.92%, respectively.

Key words: Chaohu Basin; municipal wastewater treatment plant; quasi class IV standard of

surface water; upgrading and reconstruction; operation cost

目前我国多数省市的城镇污水处理厂执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),该标准代表全国平均控制水平和最低控制要求,其中一级A标准规定出水 $\text{COD} \leq 50 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.5 \text{ mg/L}$ 。为了加强巢湖流域水污染防治,改善地表水环境质量,安徽省地方标准《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》(DB 34/2710—2016)于2017年1月1日起正式实施,该标准要求流域内新建、扩建、改建的污水处理厂出水水质达到地表水类Ⅳ类标准,即出水 $\text{COD} \leq 40 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 2.0 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.3 \text{ mg/L}$ 。据统计,巢湖流域内现有16座污水处理厂,主体工艺主要分3类,即氧化沟工艺(12座)、SBR及衍生工艺(2座)、 A^2/O 工艺(2座),实际污水处理量分别占流域污水处理总量的87.1%、10.3%和2.6%。该标准实施后,有相当数量的现有污水处理厂出水水质不能满足要求。通过强化二级处理和增加深度处理可使污水处理厂出水水质达到地表水类Ⅳ类标

准,但同时也会导致污水处理能耗和成本的增加^[1-3]。笔者以巢湖流域某污水处理厂为例,其三期工程通过增加深度处理工艺进行地表水类Ⅳ类提标改造,将其与未提标改造的二期工程进行对比,研究污染物去除效果以及污水处理成本的变化情况,旨在为类似污水处理厂的提标改造提供参考。

1 污水处理厂概况

1.1 处理工艺

巢湖流域某污水处理厂二期工程于2011年建成投产,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用 A^2/O 氧化沟 + V型滤池处理工艺,设计出水水质执行 GB 18918—2002 的一级A标准。三期工程于2016年1月建成投产,设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二级处理工艺同二期工程。为了满足安徽省地方排放标准 DB 34/2710—2016 的要求,三期工程将二期中的V型滤池工艺段改为“混凝反应池 + 斜板沉淀池 + 反硝化深床滤池”深度处理工艺,以实现污水处理厂最终出水水质达到地表水类Ⅳ类标准。二、三期工程的工艺流程如图1所示。

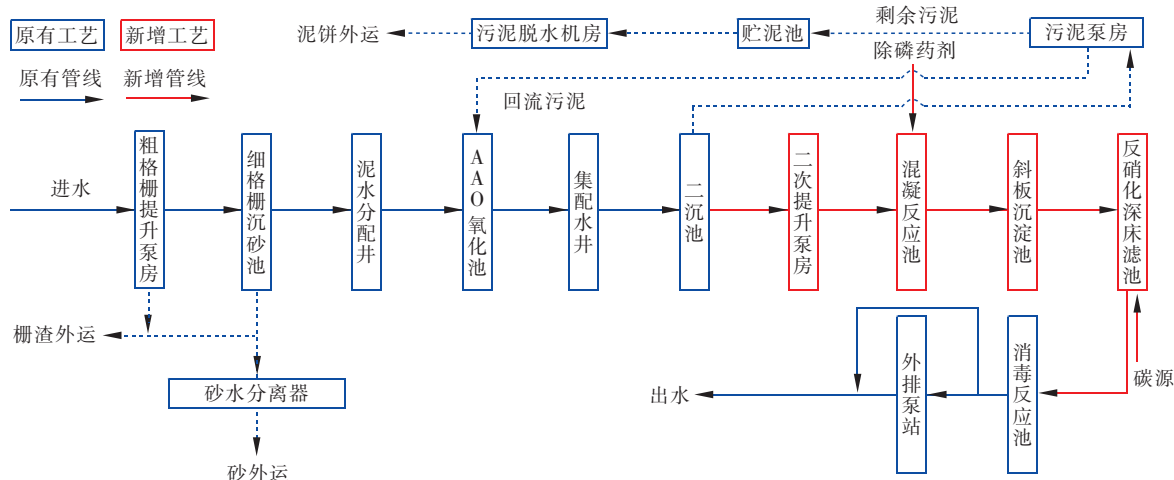


图1 某污水处理厂二、三期工艺流程示意

Fig.1 Flow chart of the second and the third phase of a municipal wastewater treatment plant

1.2 进水水质

该污水处理厂进水主要包括生活污水及部分工业废水,其中工业废水比例约为10%,无难生化的有机污染物和高浓度氨氮污水排入,工业废水排放的接管标准符合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的有关规定。该污水处理厂二期及三期工程2016年全年的进水水质见表1。

总体来看,二期与三期的进水水质非常相近,除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 相对误差超过12%外,其余指标的相对误差均在6%以内;实际进水水质波动较大, BOD_5/COD 平均值分别为0.47和0.49,可生化性较好。通常认为污水的 BOD_5/TN 值 $> 3 \sim 5$ 时,可不投加外碳源即可达到生物脱氮的目的,二期工程进水 BOD_5/TN 平均值为3.03,达到下限值,运行良好时

可不投加外碳源;三期工程进水 BOD_5/TN 平均值为 3.12, 要使出水 $TN \leq 10 \text{ mg/L}$, 必要时需要投加外碳

源。三期工程采用甲醇(97%)作为反硝化深床滤池的外加碳源, 同时投加药剂进行化学辅助除磷。

表1 2016年全年进水水质

Tab.1 Influent quality in 2016

项目	pH 值	TCOD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD_5 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
二期	7.32 ± 0.11	200.6 ± 62.2	88.3 ± 15.5	179 ± 34	21.11 ± 5.65	30.47 ± 7.19	2.84 ± 0.87	3.27 ± 0.94
三期	7.29 ± 0.12	191.4 ± 80.5	83.6 ± 16.5	168 ± 32	18.43 ± 4.90	28.42 ± 8.20	2.90 ± 1.16	3.44 ± 1.50

2 运行效果与分析

2.1 COD 的去除效果

图2为二期和三期工程的COD去除情况。总体来看, 尽管进水COD浓度波动较大, 但出水COD值均维持在 20 mg/L 以下, 二期和三期工程的出水COD浓度均值分别为 (15.8 ± 4.1) 、 $(15.6 \pm 3.6) \text{ mg/L}$, 均优于国家一级A排放标准, 也优于地表水类IV类标准。

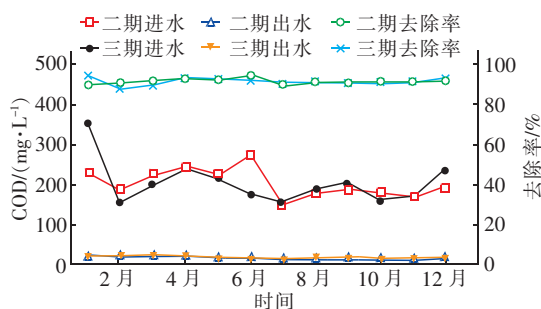


图2 COD的去除效果

Fig.2 Removal efficiency of COD

2.2 氨氮和总氮的去除效果

图3为二期工程和三期工程对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果。

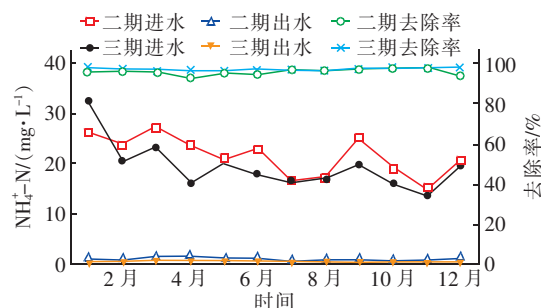


图3 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

Fig.3 Removal efficiency of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

由图3看出, 二期和三期工程对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 都有良好的去除效果。二期工程中, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率达到了 $(96.4 \pm 2.6)\%$, 出水平均浓度为 $(0.80 \pm 0.67) \text{ mg/L}$; 三期工程中, 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率达

到 $(97.1 \pm 1.6)\%$, 出水平均浓度为 $(0.54 \pm 0.31) \text{ mg/L}$ 。二期和三期工程均取得了良好的硝化效果, 这是由于氧化沟工艺好氧段长期处于高溶解氧、低负荷的运行状态, 反应器内的微环境有利于自养型的硝化菌生长, 好氧段设计停留时间长达 15 h , 确保了世代周期较长的自养型硝化菌的积累。

二期和三期工程对总氮的去除效果见图4。

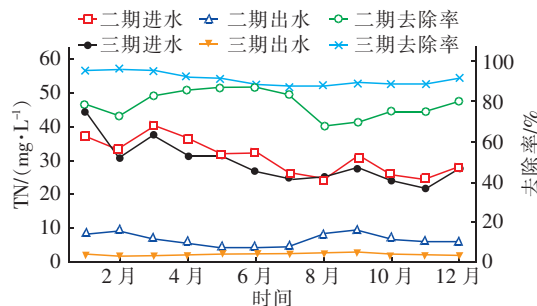


图4 TN的去除效果

Fig.4 Removal efficiency of TN

二期工程中, 进水TN浓度在 $13.6 \sim 58.2 \text{ mg/L}$ 之间剧烈波动, 平均浓度为 $(30.47 \pm 7.19) \text{ mg/L}$, 出水TN平均浓度为 $(6.62 \pm 2.62) \text{ mg/L}$, 平均去除率为 $(77.9 \pm 8.4)\%$, 稳定达到了国家一级A排放标准的要求。三期工程中, 进水TN浓度在 $12.7 \sim 88.2 \text{ mg/L}$ 之间剧烈波动, 平均浓度为 $(28.42 \pm 8.20) \text{ mg/L}$ 。进入反硝化滤池的TN浓度为 $1.73 \sim 16.48 \text{ mg/L}$, 平均为 8.70 mg/L 。反硝化滤池出水TN浓度为 $0.18 \sim 4.66 \text{ mg/L}$, 平均浓度为 $(2.85 \pm 0.83) \text{ mg/L}$, 稳定达到了地表水类IV类标准。

三期工程中TN的去除可以分为两部分, 即二级生化处理段的前置反硝化和反硝化深床滤池的后置反硝化, 前置反硝化和后置反硝化的TN去除率以及系统的TN总去除率如图5所示。总体来看, 整个系统对TN的去除效果良好, TN平均去除率达到 89.2% , 其中前置反硝化去除了 68.4% 的TN, 后置反硝化去除了 20.8% 的TN。反硝化深床滤池自身的平均TN去除率为 61.7% 。由于进水水质波动

或温度等原因导致前置反硝化效率降低时,后置反硝化深床滤池作为保障措施能够确保出水 TN 稳定达标。实际运行中应充分利用进水碳源进行前置反硝化,降低进入后置反硝化深床滤池的 TN 浓度,减少外碳源的投加以及减轻后置反硝化滤池的负荷。

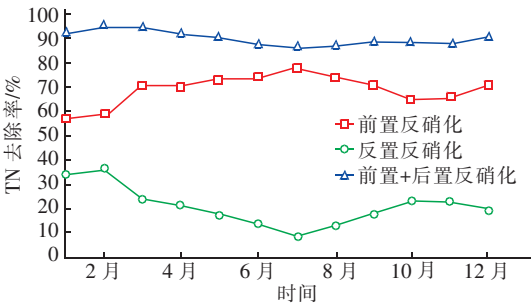


图 5 三期工程的反硝化效率

Fig. 5 Denitrification efficiency of the third phase project

2.3 TP 和 SS 的去除效果

二期和三期工程对 TP 的去除效果见图 6。

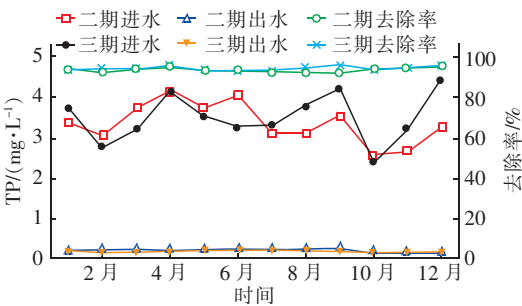


图 6 TP 的去除效果

Fig. 6 Removal efficiency of TP

由图 6 可以看出,进水 TP 浓度波动较大,但出水 TP 浓度很稳定,二期和三期工程的出水 TP 平均浓度分别为 (0.21 ± 0.07) mg/L 和 (0.18 ± 0.05) mg/L,TP 平均去除率分别为 $(93.3 \pm 2.6)\%$ 和 $(94.0 \pm 2.6)\%$ 。值得注意的是,二期和三期工程中只有约 30% 的磷是通过生物同化作用去除的,其余的磷则通过投加化学药剂去除。

由于二期和三期工程分别设置了 V 型滤池和混凝斜板沉淀池,能够高效截留 SS,对 SS 的平均去除率分别为 $(96.9 \pm 0.4)\%$ 和 $(96.6 \pm 0.3)\%$,出水 SS 均稳定在 10 mg/L 以下,达到了排放要求。SS 的高效去除同时保证了出水 TP 的稳定达标。

2.4 运行成本对比

二期和三期工程 2016 年全年的运行费用对比见表 2。其中,电价为 0.73 元/(kW·h),除磷药剂单价为 330 元/t,次氯酸钠单价为 900 元/t,甲醇单

价为 2 155 元/t,污泥处置及运输费单价为 80 元/t, PAM 单价为 22 000 元/t。

表 2 二期工程和三期工程的运行费用对比

Tab. 2 Comparison of operating costs 元·m⁻³

项 目	二期	三期	费用增加值
电费	0.148 9	0.215 3	0.066 4
除磷药剂费	0.007 3	0.012 4	0.005 1
消毒药剂费	0.007 3	0.005 9	-0.001 4
碳源药剂费	0.000 0	0.045 5	0.045 5
污泥处置费	0.006 8	0.008 1	0.001 3
PAM 药剂费	0.001 4	0.001 4	0
合计	0.171 8	0.288 7	0.116 9

与二期相比,三期吨水处理费用增加了 68.04%,其中电费占 56.80%、碳源药剂费占 38.92%、除磷药剂费占 4.36%、污泥处置费占 1.11%。电费增加最多,主要是由于深度处理单元二次提升泵和反硝化深床滤池反冲洗风机的增加。而为了去除总氮,在深床滤池投加碳源也导致吨水处理费用大幅增加。从整个费用占比来看,三期除磷药剂增加费用占比仅为 4.36%,但三期除磷效果改善并不明显(出水 TP 浓度相差不大),而除磷药剂费却比二期增加了 69.86%。污泥处理费用有小幅增长,分析认为是由于化学除磷药剂的增加导致污泥产率的增长,从而导致污泥处理量的增加。三期的 PAM 药剂费用与二期相同,消毒药剂费则比二期下降了 19.18%,分析认为是三期的出水水质优于二期而导致消毒药剂的使用量减少。

3 结论

① 该污水处理厂二期和三期的进水水质相近,二期的出水 COD 和氨氮浓度可稳定达到安徽省地方标准 DB 34/2710—2016 的要求,但出水 TN 和 TP 浓度存在超标的可能性,所以三期出水水质执行 DB 34/2710—2016 标准时有必要在二期处理工艺的基础上增加后置反硝化工艺和化学辅助除磷工艺,实践证明“混凝反应池+斜板沉淀池+反硝化深床滤池”的深度处理工艺是可行的。三期出水 TN 浓度可以稳定在 5 mg/L 以下,满足出水总氮标准进一步提高的要求。

② 三期工程对 TN 的平均去除率为 89.2%,其中前置反硝化去除了 68.4% 的 TN,后置反硝化去除了 20.8% 的 TN。实际运行中如能充分利用进水碳源强化生物脱氮,保证二沉池出水 TN 浓度稳定低于 10 mg/L,则能完全省去碳源药剂费。

③ 三期工程中,从国家一级 A 标准提标到地表水类Ⅳ类标准,吨水处理费用增加了 68.04%,其中电费占 56.80%、碳源药剂费占 38.92%、除磷药剂费占 4.36%、污泥处置费占 1.11%。

参考文献:

- [1] 杜创,雷振,张铁源. 深床滤池在污水厂地表Ⅳ类水提标改造中的应用[J]. 中国给水排水,2017,33(8): 99-103.
- Du Chuang, Lei Zhen, Zhang Tiejuan. Application of deep bed filter in WWTP upgrading project to meet class IV standard of surface water [J]. China Water & Wastewater,2017,33(8):99-103(in Chinese).
- [2] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等. 新型 MBBR 用于类地表Ⅳ类水排放标准升级改造[J]. 中国给水排水,2017,33(14):93-98.
- Yang Yuxing, Wu Di, Song Meiqin, et al. Application of new MBBR in WWTP upgrading to meet class IV surface water standard[J]. China Water & Wastewater,2017,33(14):93-98(in Chinese).
- [3] 马刚,张琦,张飞. 大型埋地式地表水类Ⅳ类出水标准

污水厂工艺设计[J]. 中国给水排水,2018,34(8): 45-50.

Ma Gang, Zhang Qi, Zhang Fei. Design of large-scale underground wastewater treatment plant with effluent standard as surface water class IV [J]. China Water & Wastewater,2018,34(8):45-50(in Chinese).



作者简介:马玉萍(1986-),女,安徽合肥人,硕士,工程师,研究方向为污水深度处理技术。

E-mail: mayuping990@163.com

收稿日期:2018-07-14

(上接第 95 页)

参考文献:

- [1] Stephenson T, Judd S, Jefferson B, et al. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment [M]. London: IWA Publishing, 2015.
- [2] 陈卫,武迪,朱宁伟,等. A/A/O-MBR 组合工艺强化去除氨氮及其硝化速率[J]. 土木建筑与环境工程, 2010,32(4):90-95.
- Chen Wei, Wu Di, Zhu Ningwei, et al. Enhanced ammonia removal and nitrification rate of A/A/O-MBR combined process [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2010, 32(4): 90-95 (in Chinese).
- [3] Fu Z, Yang F, An Y, et al. Simultaneous nitrification and denitrification coupled with phosphorus removal in a modified anoxic/oxic-membrane bioreactor (A/O-MBR) [J]. Biochem Eng J, 2009, 43(2): 191-196.
- [4] Cinar O, Daigger G T, Graef S P. Evaluation of IAWQ activated sludge model No. 2 using steady-state data from four full-scale wastewater treatment plants [J]. Water Environ Res, 1998, 70(6): 1216-1224.
- [5] Daigger G T, Littleton H X. Orbal 氧化沟同时硝化/反硝化及生物除磷的机理研究[J]. 中国给水排水,

1999,15(3):1-7.

Daigger G T, Littleton H X. Study on the mechanism of simultaneous nitrification/denitrification and biological phosphorus removal in Orbal oxidation ditch [J]. China Water & Wastewater, 1999, 15(3): 1-7 (in Chinese).



作者简介:梁珊(1988-),女,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事自来水与污水处理工程设计工作。

E-mail: liangshan@yunnanwater.com.cn

收稿日期:2018-06-07