

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.019

## BAF+高效沉淀池+反硝化深床滤池用于准IV类提标

柏春荫<sup>1,2</sup>, 张庆习<sup>1,2</sup>, 赵 帅<sup>1</sup>, 苏 伟<sup>1</sup>, 林子豪<sup>1</sup>, 翟伟奇<sup>3</sup>

(1. 北海北排水环境发展有限公司, 广西 北海 536007; 2. 北京北排产业发展集团有限公司, 北京 100038; 3. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘 要:** 广西某污水处理厂总处理规模为 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用DE氧化沟+纤维转盘滤池及 $\text{A}^2/\text{O}$ +滤布滤池工艺, 按一级A标准建设。为使出水水质提升至地表水准IV类标准, 新建曝气生物滤池(BAF)、高效沉淀池、反硝化深床滤池、臭氧接触池等深度处理工艺, 即使受到进水水质连续超标影响, 仍然具有较好的脱氮除磷稳定性, 出水水质达到地表准IV类标准, 其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、SS平均削减效率分别达到85.48%、51.31%、76.86%、70.21%。该工程投运后既解决了污水处理厂尾水排放问题, 又有效地改善了该流域的水环境质量, 为生态修复和红树林保护奠定了重要基础。

**关键词:** 曝气生物滤池; 高效沉淀池; 反硝化深床滤池; 提标改造

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0119-06

### Application of BAF, High-efficiency Sedimentation Tank and DDBF in Upgrading of WWTP for Quasi-IV Standard

BAI Chun-yin<sup>1,2</sup>, ZHANG Qing-xi<sup>1,2</sup>, ZHAO Shuai<sup>1</sup>, SU Wei<sup>1</sup>, LIN Zi-hao<sup>1</sup>, ZHAI Wei-qi<sup>3</sup>

(1. Beihai Beipai Drainage Environment Development Co. Ltd., Beihai 536007, China; 2. Beijing Beipai Industrial Development Group Co. Ltd., Beijing 100038, China; 3. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** A wastewater treatment plant (WWTP) in Guangxi, with a total treatment capacity of  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , adopts the process of DE oxidation ditch, fiber rotary disk filter,  $\text{A}^2/\text{O}$ , and filter cloth filter, according to the first level A standard. In order to improve the effluent quality to quasi-IV criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002), the advanced treatment processes such as biological aerated filter (BAF), high-efficiency sedimentation tank, denitrification deep-bed filter (DDBF), and ozonation contact reactor are built. Even if affected by the continuous excess of the influent quality, the nitrogen and phosphorus removal remained stable, the effluent quality met the quasi-IV standard, and the average reduction efficiency of  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN, TP, SS reached 85.48%, 51.31%, 76.86%, 70.21%, respectively. After the project was put into operation, it not only solved the problem of tail water discharge from the WWTP, but also effectively improved the water environment quality of the basin, which lays an important foundation for ecological restoration and protection of mangroves.

**Key words:** biological aerated filter; high-efficiency sedimentation tank; denitrification deep-bed filter; upgrading and reconstruction

广西某污水处理厂工程一期规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 二期规模为 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 其中粗格栅渠及提升泵管

路按  $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  建设,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。根据规划,尾水排放流域水功能区划等级为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水体,为解决尾水排放问题,根据政府有关部门要求,新配建等体量再生水厂(深度处理),提升尾水主要指标达到地表Ⅳ类标准(TN除外)。

## 1 工程现状及存在的问题

### 1.1 污水处理厂现状

该污水处理厂一期处理规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,污水处理采用DE氧化沟+纤维转盘滤池+紫外消毒工艺,污泥处理采用一体化机械浓缩脱水工艺,其中贮泥池、污泥脱水机房及巴氏计量槽等土建工程按一期、二期共用思路在一期完成建设;二期处理规模为  $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,污水处理采用A<sup>2</sup>/O+沉淀池+滤布滤池+紫外消毒工艺。该工程臭气处理均采用生物滤池处理工艺,出水水质执行一级A标准。主要水质指标见表1。

表1 污水处理厂提标前的进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality of the WWTP before upgrading

| 项目                           | COD    | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN        | TP       | SS     |
|------------------------------|--------|------------------|--------------------|-----------|----------|--------|
| 设计进水/(mg·L <sup>-1</sup> )   | 350    | 120              | 25                 | 35        | 4        | 200    |
| 设计出水/(mg·L <sup>-1</sup> )   | 50     | 10               | 5                  | 15        | 0.5      | 10     |
| 实际进水区间/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 65~160 | 12.5~85          | 8.61~39.5          | 8.23~44   | 1.85~4.5 | 58~250 |
| 实际出水区间/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 10~50  | 1~10             | 0.01~4.61          | 8.23~14.7 | 0.22~0.5 | 5~10   |
| 准Ⅳ类达标率/%                     | 69     | 65               | 40                 | 6         | 4        | 4      |

### 1.2 存在的问题

① 整体进水浓度偏低,碳氮比严重失衡,表现出进水高氮的特点,并且氨氮、TN存在间歇超过设计进水水质的情况,这可能与流域范围内存在畜牧养殖场、屠宰场等有关;进水旱季BOD<sub>5</sub>/TN基本处于1~5之间,平均值为1.9;雨季BOD<sub>5</sub>/TN基本处于1.0~2.4之间,平均值为1.1,说明碳源严重不足,造成系统的脱氮效率很低。按照规划,2023年将完成流域部分排水设施改造及完善,根据第三方监测数据,将有约2500 m<sup>3</sup>/d生活污水及农村散养猪废水

接入,进水氮、磷浓度会逐步提高,可能进一步造成系统的脱氮除磷压力不断增大。

② 由于生化系统碳源严重不足,营养不平衡,造成了当前污水处理段的脱氮除磷效果差;当前出水水质基本满足一级A排放标准,但由于进水水质波动较大,浓度偏低,造成系统长期处于低负荷状态,易导致絮体颗粒小、污泥沉降性变差等情况,造成出水SS、TP偶有波动。

③ 该厂服务流域大部分属于雨污合流制,位于沿海区域,受降雨涨潮等因素影响,每月均存在约5~10 d的海水侵入情况,造成进水氯离子、盐度明显升高,氯离子浓度为1000~4500 mg/L,盐度为2~10 ng/L,在一定程度上影响了生化系统的稳定性,造成出水波动。

④ 目前出水指标均存在不同程度的波动情况,单纯依赖现有工艺,难以通过调控实现流域地表准Ⅳ类排放的要求,因而需要考虑增设深度处理工艺,结合目前出水COD、氨氮特点,重点考虑对TN、TP、SS的去除。

## 2 工程方案

### 2.1 深度处理工艺的选择

深度处理工艺的选择是保证出水水质达标的关键,针对深度处理工艺,需从整体优化的角度出发,结合处理规模、进出水水质要求、现场实际以及后期运营管理情况,进而确定可行、合理、经济的深度处理组合工艺<sup>[1]</sup>。

结合该工程实际用地情况及出水标准要求高的特点,当前二级生化处理部分出水水质状态尚可,但由于该水厂一期工程已完成委托运营,二期未明确运营主体并存在新增投资压力,深度处理采用了PPP模式新建再生水厂,造成后期运营单位不同,再生水厂的运营管理、水质达标受污水处理厂的管理、出水水质状态影响较大,在无法实现统一协调管理、一二期污水生化系统改造、水质指标联动优化以及出水分开独立考核、付费的情况下,根据当前污水厂进、出水的水质特点和指标要求,为保障再生水厂具有独立应对水质波动、确保水质达标的能力,并结合后期运行自动化程度高、耐冲击负荷强等需求,以及流域内存在屠宰场、畜牧养殖、海水侵入等情况,新建深度处理系统需要具备进一步去除有机物的同时兼顾脱氮除磷效果,起到应对

COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 波动的兜底保障作用。

研究表明,进水氯离子、盐度的增加,会降低活性污泥与脱氮除磷相关酶的活性,影响污水处理系统的脱氮除磷性能<sup>[2-3]</sup>,而生物膜法则具有更强的抗高盐度冲击能力,并且通过乙酸钠的投加能够应对氯离子的冲击,大幅提高反硝化速率。为此,深度处理采用沉淀除磷+兼具除碳、硝化、反硝化功能的生物滤池。对氨氮的兜底保障采用曝气生物滤池,在曝气状态下有机物被微生物氧化分解,氨氮被氧化成硝态氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ),并起到应对氯离子、盐度冲击的作用;另外,由于在生物膜的内部存在厌氧/兼氧环境,在硝化的同时可实现部分反硝化。如出水需要继续脱氮,可进入下一级后置反硝化系统,同时投加外部碳源<sup>[4]</sup>。由于曝气头均匀布置在池底,气、水分配更加均匀,可提升氧气利用率,避免能源浪费<sup>[5]</sup>。沉淀除磷工艺采用高效沉淀池,兼具混合、絮凝、沉淀功能,沉淀采用斜管装置,与普通平流式沉淀池相比,可大幅提高水力负荷,并具有占地少、耐冲击强、自动化程度高、故障率低等优点。在反硝化工艺上,反硝化深床滤池是集生物脱氮及过滤功能为一体的处理单元,天津某污水处理厂提标改造工程的实践表明,废水经深床滤池处理后TN去除率可达到50%~79%<sup>[6]</sup>。现有的运行经验表明,高效沉淀池+深床滤池联合处理工艺的出水TP平均值为0.25 mg/L,平均去除率约83.2%<sup>[7]</sup>。因此,结合其出水水质稳定、耐负荷冲击强、自动化程度高、检修率低等特点,最终确定采用曝气生物滤池+高效沉淀池+反硝化深床滤池+臭氧氧化组合工艺。

## 2.2 设计规模及进、出水水质

该污水处理厂设计处理能力为 $5.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (预留将来发展的5000  $\text{m}^3/\text{d}$ 用水量),流域实际日均水量为 $(4\sim 5.3)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。根据流域设计规划,尾水排放流域河道枯水期日需生态补水量为 $5.02\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,因而新建再生水厂达到处理规模 $5.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 时,可以满足流域污水处理量及生态补水要求。

该污水处理厂出水目标水质为一级A标准,目前除TN外,其余指标均值基本接近一级A标准,因此再生水厂的设计进水水质为一级A标准。尾水排放流域水功能区划等级为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水体,作为其补水的水源之一,再生水厂的出水水质目标确定为基本达到地表水Ⅳ类标准(TN除外)。具体指标见表2。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

| 项目                                   | $\text{BOD}_5$ | COD | SS | TN | $\text{NH}_3\text{-N}$ | TP  |
|--------------------------------------|----------------|-----|----|----|------------------------|-----|
| 进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 10             | 50  | 10 | 15 | 5                      | 0.5 |
| 出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 6              | 30  | 5  | 10 | 1.5                    | 0.3 |
| 去除率/%                                | 40             | 40  | 50 | 33 | 70                     | 40  |

深度处理工艺设计进水水质参考累计频率为85%的实际进水数据,同时留有适当余量。

## 2.3 工艺流程

该污水处理厂尾水经提升泵进入曝气生物滤池,经配水总渠均匀溢流进入碳氧化/硝化曝气生物滤池,进一步降解污水中的含碳有机物和氨氮,并截留污水中部分SS,脱落的生物膜及SS随反冲洗排水排出滤池至厂区污水井。出水进入高效沉淀池,在进水端投加除磷药剂进行化学除磷,确保出水总磷达到要求后进入深床滤池,并根据来水情况灵活投加碳源,强化脱氮,将硝酸盐氮、亚硝酸盐氮转化为氮气,确保出水总氮达标并过滤部分SS、TP。出水进入臭氧氧化池,去除进水携带及少量由于碳源利用不充分而产生的 $\text{BOD}_5$ 等有机物并脱色,确保COD、 $\text{BOD}_5$ 、色度达到出水要求。出水经消毒接触池消毒,去除粪大肠杆菌等,抑制细菌再生后经巴氏计量槽进入出水池并排入接纳水体。具体工艺流程见图1。

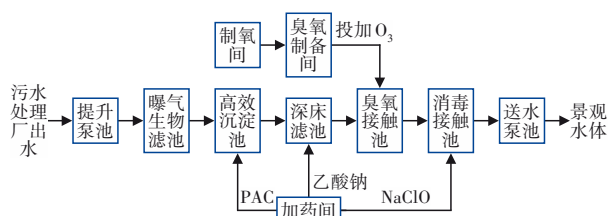


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

## 3 工艺设计及主要参数

### 3.1 中间提升泵池

地下钢筋混凝土矩形集水池,尺寸为 $11.25\text{ m}\times 8.45\text{ m}\times 3.6\text{ m}$ ,污水泵5台(4用1备), $Q=785\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=170\text{ kPa}$ , $N=55\text{ kW}$ ,其中2台带变频装置,可针对来水流量变化进行调节。根据集水池水位,可设置由PLC自动控制、水泵按顺序轮值运行的功能,并设现场手动控制。

### 3.2 曝气生物滤池

#### ① 生物滤池



半地下钢筋混凝土矩形池1座,分2个系列,每个系列3格,设计水量 $0.85\text{ m}^3/\text{s}$ ,单池过滤面积 $67.2\text{ m}^2$ ,实际总过滤面积为 $403.2\text{ m}^2$ ,滤速 $5.98\text{ m/h}$ ;采用快速降水位+气水联合反冲洗,强制反冲洗滤速 $7.18\text{ m/h}$ ,水反冲洗强度为 $5\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,气冲洗强度为 $21\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。水力负荷为 $6.9\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,其中一格反洗时负荷为 $8.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;有机负荷为 $0.14\text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,硝化负荷为 $0.12\text{ kgNH}_4^+-\text{N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。

采用粒径 $\phi 3\sim 5\text{ mm}$ 球型多孔生物滤料,滤料层高度为 $4.0\text{ m}$ ,表观密度为 $1.4\sim 1.8\text{ kg}/\text{m}^3$ ,堆积密度为 $0.7\sim 1.0\text{ kg}/\text{m}^3$ ,比表面积 $\geq 3.5\times 10^4\text{ cm}^2/\text{g}$ ,停留时间 $34.8\text{ min}$ 。卵石承托层: $\phi 8\sim 16\text{ mm}$ , $H=150\text{ mm}$ ;  $\phi 16\sim 32\text{ mm}$ , $H=150\text{ mm}$ ;滤板482个,规格为 $960\text{ mm}\times 960\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 。配水形式为滤板+滤头+滤梁,单堰出水;配置曝气罗茨风机3台(2用1备), $Q=40\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=0.08\text{ MPa}$ , $N=100\text{ kW}$ 。

### ② 反冲洗系统

滤后清水池1座,有效容积 $480\text{ m}^3$ ,配置反冲洗排水提升泵2台(1用1备), $Q=610\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100\text{ kPa}$ , $N=37\text{ kW}$ 。反冲洗罗茨鼓风机3台(2用1备),流量 $45\text{ m}^3/\text{min}$ ,风压 $0.08\text{ MPa}$ ,功率 $110\text{ kW}$ 。

### ③ 反冲洗废水池

反冲洗废水池有效容积 $480\text{ m}^3$ ,2格连续反洗。配置废水排水泵2台(1用1备), $Q=650\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=50\text{ kPa}$ , $N=18.5\text{ kW}$ 。

## 3.3 高效沉淀池

高密沉淀池1座,左右对称,由混凝池、反应池、斜管沉淀池串接而成,集混合、反应和沉淀功能于一体,含混凝池2格(单池有效容积 $28\text{ m}^3$ ,停留时间约 $1.1\text{ min}$ )、反应池2格(单池有效容积 $235\text{ m}^3$ ,停留时间约 $9.2\text{ min}$ )、斜管沉淀池2格(平面尺寸为 $12\text{ m}\times 12\text{ m}$ )及设备间1个,其中机械絮凝反应池和斜管沉淀池分别串接组成2个系列,可单独运行;2组高效沉淀池之间的空地作为沉淀排泥设备间。平均设计流量为 $2\,292\text{ m}^3/\text{h}$ ( $0.64\text{ m}^3/\text{s}$ ),最大设计流量为 $3\,140\text{ m}^3/\text{h}$ ( $0.87\text{ m}^3/\text{s}$ )。配备污泥泵5台(4用1库备), $Q=90\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200\text{ kPa}$ , $N=22\text{ kW}$ ;快速混合搅拌器2台,搅拌器直径为 $1.8\text{ m}$ ,功率为 $4\text{ kW}$ ;絮凝搅拌器2台,搅拌器直径为 $3.4\text{ m}$ ,功率为 $7.5\text{ kW}$ ;中心轴传动刮泥机2台,搅拌器直径为 $12\text{ m}$ ,功率为 $0.12\text{ kW}$ ;以及超声波液位计、污泥界面分析

仪、污泥浊度仪等。

## 3.4 深床滤池

反硝化生物滤池1座,共5格,尺寸为 $34.53\text{ m}\times 26.8\text{ m}\times 12.25\text{ m}$ ,高效沉淀池出水通过汇水渠(碳源投加点)后分配至5格滤池,每池单独设进水堰板、滤料层、承托层、滤砖层、出水槽、进出水阀门、反冲洗系统阀门及放空阀门等,可根据流量需求调整实际运行池数,实现过滤去除SS、TP和生物反硝化脱氮作用。过滤面积 $422.85\text{ m}^2$ ,滤料层厚度为 $2.53\text{ m}$ ,平均正常滤速为 $5.42\text{ m/h}$ ,强制校核反冲洗滤速为 $7.21\text{ m/h}$ ,水力负荷为 $5.42\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。滤池反洗采用气冲—气水冲—水冲加表面扫洗方式,冲洗后均匀混合的砂层不产生水力分级,冲洗周期为 $24\text{ h}$ ,反冲洗约 $15\text{ min}$ ,其中:气冲 $2\text{ min}$ ,气水同时冲 $4\text{ min}$ ,水冲加表面扫洗 $6\text{ min}$ ,其他为 $3\text{ min}$ 。水冲洗强度为 $4.2\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,气冲洗强度为 $25\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。驱氮周期为 $0\sim 4\text{ h}$ ,驱氮时间为 $1\sim 2\text{ min}$ 。配置反冲洗水泵3台(2用1备), $Q=635\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100\text{ kPa}$ , $N=22\text{ kW}$ ;罗茨鼓风机3台(2用1备), $Q=64\text{ m}^3/\text{min}$ , $H=73.5\text{ kPa}$ , $N=132\text{ kW}$ ;废水排放泵2台(1用1备), $Q=200\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=120\text{ kPa}$ , $N=7.5\text{ kW}$ ;以及潜污搅拌机、空压机、硝态氮测定仪、DO仪等。

## 3.5 臭氧氧化系统

钢筋混凝土水池1座,分两组,可单独运行。尺寸为 $37.10\text{ m}\times 16.75\text{ m}\times 6.60\text{ m}$ ,设计流量下臭氧最大投加量为 $13.7\text{ mg/L}$ ,接触时间约 $40\text{ min}$ 。每组臭氧接触池采用三级串联布置,投加量分别约为 $50\%$ 、 $25\%$ 、 $25\%$ 。为保障池体内密闭气体的压力恒定,每组臭氧接触池顶部设置双向透气安全阀,池体内保持微负压状态(约为 $-300\text{ Pa}$ )。接触池内的尾气经除雾器去除水雾后,通过管道输送至池顶尾气破坏器。臭氧接触池设密封压力人孔,密封垫采用聚四氟乙烯。考虑后期检修,每组臭氧接触池设 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}\times 500\text{ mm}$ 的吸水坑。配置臭氧发生器系统2套,包含2套 $35\text{ kg/h}$ 臭氧发生器( $N=280\text{ kW}$ )、臭氧电源系统、控制系统、闭路循环冷却水系统(冷却水泵 $Q=70\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=280\text{ kPa}$ , $N=11\text{ kW}$ )、自控系统等。按经济运行原则, $35\text{ kg/h}$ 臭氧发生器选择额定臭氧浓度 $148\text{ mg/L}$ 。另配置空压机1台, $Q=2.12\text{ m}^3/\text{min}$ , $N=15\text{ kW}$ ;储气罐Q345R材质, $1\text{ m}^3$ ;处理量为 $2.4\text{ m}^3/\text{min}$ 组合干燥机1台; $2\text{ m}^3/\text{min}$ 过滤器1套。

### 3.6 消毒接触池

再生水厂的出水作为城镇杂用水及景观环境用水,根据《污水再生利用工程设计规范》(GB 50335—2016)的规定,对于上述用途的水质有余氯含量的要求,故选择消毒效果具有延续性的消毒工艺,同时为了满足次氯酸钠消毒接触时间要求,设消毒接触池1座,分2格布置,总有效容积约为1 430 m<sup>3</sup>,出水粪大肠菌群数≤1 000 个/L,消毒出水经巴氏计量槽计量流出,计量槽渠宽1.5 m,喉宽0.45 m,过水能力636 L/s。

### 3.7 加药间

加药间由PAC储罐区、碳源储罐区、次氯酸钠储罐区及加药间组成,平面尺寸为24.9 m×11.1 m。配备PAC隔膜加药泵3台(2用1备), $Q=250$  L/h, $H=250$  kPa, $N=1.5$  kW;储罐有效容积为25 m<sup>3</sup>+25 m<sup>3</sup>,PE材质,除磷剂投至高效沉淀池前端快速搅拌井内,最大投加量为16.5 mg/L。乙酸钠隔膜加药泵2用1备, $Q=330$  L/h, $H=250$  kPa, $N=1.5$  kW;储罐有效容积30 m<sup>3</sup>+30 m<sup>3</sup>,PE材质,反硝化碳源投至深床滤池前端的快速搅拌井内,设计投加量30 mg/L。次氯酸钠隔膜加药泵2用1备, $Q=150$  L/h, $H=250$  kPa, $N=1.5$  kW;储罐有效容积15 m<sup>3</sup>+15 m<sup>3</sup>,PE材质;消毒药剂投至消毒接触池前端管道,最大投加量为10 mg/L。

为便于根据进水流量及实际出水水质情况灵活调整加药量,确保出水达标情况下运行的经济性,所有加药泵均为变频控制并配备电磁流量计。

## 4 主要经济指标及运行效果

该再生水厂工程总投资约为1.6亿元,吨水投资约为2 900 元/m<sup>3</sup>。在此运行期间进水水质波动较大,再生水厂深度处理单元在污染物削减压力较大的情况下,直接电和药运行成本约为0.642 元/m<sup>3</sup>,其中除磷为0.038 元/m<sup>3</sup>(10%PAC)、脱氮为0.217 元/m<sup>3</sup>(30%乙酸钠)、消毒为0.045 元/m<sup>3</sup>(10%次氯酸钠)、臭氧为0.100 元/m<sup>3</sup>、电费为0.243 元/m<sup>3</sup>。

实际运行中,电、药实际运行成本较实施方案阶段偏高,主要原因:①进水水质波动频繁、较大,造成相应药剂、电费的增加。②为应对频繁、突然的进水水质波动,确保出水水质连续稳定达标,脱氮除磷药剂均需维持在微过量投加状态。③实际运行过程中,受进水水质、水量、构筑物重力流过程

中堰式跌水充氧等因素影响,需要投加碳源将深床滤池进水DO大量消耗,使其降至0~1 mg/L,继续增加碳源投加量,方能有效启动反硝化反应<sup>[8]</sup>,这在一定程度上增加了碳源成本。

该再生水厂工程自正式投运后运行平稳,出水水质连续稳定达标,连续12个月的出水水质监测数据见表3。

表3 实际运行出水水质监测数据

Tab.3 Actual effluent quality monitoring data

mg·L<sup>-1</sup>

| 时间  | COD   | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN  | TP    | SS  |
|-----|-------|------------------|--------------------|-----|-------|-----|
| 6月  | 15.49 | 0.8              | 0.03               | 7.4 | 0.189 | 3.1 |
| 7月  | 17.91 | 0.7              | 0.05               | 6.9 | 0.186 | 2.9 |
| 8月  | 14.44 | 0.6              | 0.02               | 8.4 | 0.194 | 3.5 |
| 9月  | 15.38 | 0.7              | 0.07               | 8.4 | 0.167 | 3.9 |
| 10月 | 12.84 | 0.7              | 0.10               | 8.5 | 0.132 | 3.6 |
| 11月 | 14.07 | 0.9              | 0.09               | 6.0 | 0.125 | 3.7 |
| 12月 | 15.61 | 0.9              | 0.06               | 5.3 | 0.167 | 3.6 |
| 1月  | 16.87 | 0.7              | 0.05               | 5.1 | 0.168 | 3.2 |
| 2月  | 15.14 | 0.6              | 0.05               | 7.8 | 0.083 | 3.7 |
| 3月  | 14.10 | 0.7              | 0.03               | 9.0 | 0.089 | 3.7 |
| 4月  | 17.91 | 0.7              | 0.02               | 8.9 | 0.115 | 4.0 |
| 5月  | 17.64 | 0.6              | 0.02               | 9.2 | 0.131 | 3.6 |

## 5 结语

① 针对原污水厂出水水质,特别是氮、磷指标波动较大的特点,深度处理采用生物滤池+高效沉淀池+反硝化深床滤池+臭氧氧化组合工艺,实践证明其对TN、TP、SS具有较强的耐负荷冲击能力,达到了设计预期效果,并且易于自动化管理。该组合工艺在频繁出现进水水质波动较大的状态下,能够有效确保出水主要指标稳定达到地表Ⅳ类水质标准(TN≤10 mg/L),既解决了原污水厂尾水无法排放的问题,也对出水氮、磷波动较大的污水厂提标改造具有较好的借鉴意义。

② 在海水倒灌氯离子浓度升高、曝气生物滤池调控变化不大的情况下,硝化性能未受到明显影响,出水氨氮最高仅为0.17 mg/L,基本维持在0.05 mg/L以下,波动较小,但造成了反硝化深床滤池碳源投加量的增加,因而即使在进水TN<10 mg/L的情况下,为提升反硝化深床滤池应对氯离子冲击的能力,仍需保持一定的碳源投加量,综合造成了碳源投加成本占直接总成本的33.8%。

## 参考文献:

- [1] 黄翠芳,陆万祥.长沙市敢胜垵污水处理厂深度处理工艺的筛选研究[J].环境科学与管理,2015,40(6):82-86.
- HUANG Cuifang, LU Wanxiang. Selection of depth treatment technology for Ganshengyuan sewage treatment plant in Changsha [J]. Environmental Science and Management, 2015, 40(6):82-86 (in Chinese).
- [2] 王子超.盐度和重金属对序批式生物反应器性能及微生物群落结构影响的研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- WANG Zichao. Effects of Salinity and Heavy Metals on the Performance and Microbial Community Structure of Sequencing Batch Reactors [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014 (in Chinese).
- [3] 蔡涛.好氧颗粒污泥生物脱氮除磷对盐度的响应[J].工业安全与环保,2018,44(6):50-52,66.
- CAI Tao. Response of aerobic granular sludge biological nitrogen and phosphorus removal to salinity[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018, 44(6): 50-52,66 (in Chinese).
- [4] 徐亚明,蒋彬.曝气生物滤池的原理及工艺[J].工业水处理,2002,22(6):1-5.
- XU Yaming, JIANG Bin. Working principle and technology of biological aerated filter [J]. Industrial Water Treatment, 2002, 22(6): 1-5 (in Chinese).
- [5] 刘芳延.组合曝气式生物滤池处理废水探讨[J].绿色科技,2019(12):94-95.
- LIU Fangyan. Discussion on wastewater treatment with combined aerated biological filter [J]. Journal of Green Science and Technology, 2019 (12): 94-95 (in Chinese).
- [6] 黄勤超.反硝化深床滤池在某污水处理厂提标改造工程中的应用[J].净水技术,2021,40(S1):112-115,235.
- HUANG Qinchao. Application of deep-bed denitrification filter in a upgrading and renovation project of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(S1): 112-115,235 (in Chinese).
- [7] 李畅宇.高效沉淀池与深床滤池联合处理工艺在某污水处理厂的调试及试运行[J].新型工业化,2020,10(4):138-141.
- LI Changyu. Commissioning and trial operation of high-efficiency sedimentation tank and deep bed filter combined treatment process in a sewage treatment plant [J]. The Journal of New Industrialization, 2020, 10(4): 138-141 (in Chinese).
- [8] 徐一兰,沈晓佳,陈雪祥,等.深床滤池多模式运行用于城镇污水处理厂提标改造[J].中国给水排水,2018,34(16):85-87,92.
- XU Yilan, SHEN Xiaojia, CHEN Xuexiang, et al. Application of deep-bed filter with multi-mode operation in wastewater treatment plant upgrading reconstruction [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 85-87,92 (in Chinese).

作者简介:柏春荫(1988-),男,江苏赣榆人,硕士,工程师,主要从事污水处理、流域水环境治理与运营、水生态修复工作。

E-mail:baichunyin@bdc.cn

收稿日期:2022-06-12

修回日期:2022-07-07

(编辑:衣春敏)

全面推行河长制湖长制,维护河湖健康生命