

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.022

# 高效沉淀池 + 反硝化深床滤池用于污水厂提标改造

郑伟波<sup>1</sup>, 单伊娜<sup>2</sup>, 胡如意<sup>1</sup>, 余敏露<sup>1</sup>

(1. 浙江竟成环保科技有限公司, 浙江 温州 325011; 2. 温州市城市规划设计研究院, 浙江 温州 325000)

**摘 要:** 温州鹿城轻工产业园区污水处理厂原有一期工程主体工艺为 Bardenpho + BAF, 出水 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN 及 TP 无法稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。在一期工程投加外部碳源、新增设备及优化运行参数基础上, 提标改造工程新建高效沉淀池 + 反硝化深床滤池深度处理工艺, 强化脱氮除磷及去除 SS。连续 9 个月的运行数据表明, 系统出水 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 平均值分别为 21.2、0.85、9.21、0.23 mg/L, 平均去除率分别为 81.4%、94.2%、60.6%、88.2%, 出水各项指标均达到甚至优于一级 A 标准。

**关键词:** 污水处理厂; 提标改造; 高效沉淀池; 反硝化深床滤池

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0124-07

## Application of High Efficiency Sedimentation Tank and DDBF in Upgrading and Reconstruction of a WWTP

ZHENG Wei-bo<sup>1</sup>, SHAN Yi-na<sup>2</sup>, HU Ru-yi<sup>1</sup>, YU Min-lu<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Reach Green Environmental Technology Co. Ltd., Wenzhou 325011, China; 2. Wenzhou Urban Planning & Design Institute, Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** The main process of the original first phase of Wenzhou Lucheng Light Industry Park wastewater treatment plant was Bardenpho and BAF, of which, the effluent COD, NH<sub>3</sub>-N, TN and TP could not stably meet the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). By adding external carbon sources, adding new equipment and optimizing operation parameters of the first phase project, the advanced treatment process of high efficiency sedimentation tank and denitrifying deep bed filter is newly built in the upgrading and reconstruction project to strengthen nitrogen, phosphorus and SS removal. The water quality of 9 consecutive months indicated that the average values of effluent COD, NH<sub>3</sub>-N, TN and TP are 21.2 mg/L, 0.85 mg/L, 9.21 mg/L, 0.23 mg/L respectively and the average removal rates are 81.4%, 94.2%, 60.6%, 88.2% respectively. All the indexes of effluent can meet and even surpass the first level A criteria.

**Key words:** WWTP; upgrading and reconstruction; high efficiency sedimentation tank; denitrifying deep bed filter

根据《浙江省生态环境保护“十三五”规划》(浙政办发〔2016〕140号)及《温州市生态环境保护“十三五”规划》(温政办〔2016〕108号)关于加快实施

已建城镇污水处理厂提标改造的要求,“十三五”期间温州市 21 座城镇污水处理厂需全面完成提标改造并执行一级 A 标准。在此环保要求下,温州鹿城

轻工产业园区污水处理厂一期工程进行提标改造,出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准提高到一级A标准。提标改造工程于2018年9月完成施工图设计并开工,2019年5月完工并试运行,同年9月完成竣工验收。

## 1 工程现状

### 1.1 处理工艺及进、出水水质

一期工程处理规模为  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用 Bardenpho + BAF 组合工艺: 原水→粗细格栅→初沉池→厌氧区→好氧1区→兼氧1区→好氧2区→兼氧2区→沉淀区→曝气生物滤池→紫外消毒→排放。

生化系统设计总停留时间为 16.2 h, 其中厌氧区为 3.3 h、好氧1区为 0.73 h、兼氧1区为 0.64 h、好氧2区为 3.1 h、兼氧2区为 3.3 h、沉淀区为 3.2 h, BAF 为 1.93 h。

厌氧区共 6 格, 分为 2 组并联进、出水, 兼氧 2 区混合液中剩余的硝酸盐氮、沉淀区污泥中富含的反硝化细菌、聚磷菌回流至厌氧区, 与原水混合反应可实现脱氮、释磷, 出水则汇总进入好氧 1 区。污水经厌氧区氨化、脱氮及释磷后, 在好氧 1 区内实现碳化及硝化, 大部分有机物被降解、氨氮转化为硝态氮, 好氧混合液进入兼氧 1 区, 同时需补充碳源以实现反硝化。兼氧 1 区混合液溢流进入好氧 2 区, 基本完全碳化及硝化, 为兼氧 2 区提供丰富的硝态氮, 同时补充碳源以保证反硝化效果。兼氧 2 区混合液、沉淀区污泥回流至好氧 2 区, 既能保证污泥浓度, 又能使污水彻底碳化及硝化。兼氧 2 区混合液经沉淀区泥水分离后, 上清液进入 BAF 池, 底部污泥回流或排放。上清液中残余的有机物及悬浮物则在 BAF 池实现有效去除。

一期工程设计水质和 2018 年 5 月实际进、出水水质见表 1。

表 1 一期工程设计水质和 2018 年 5 月进、出水水质

Tab. 1 Design quality and influent and effluent quality of project I in May 2018

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	厌氧进水(设计值)	BAF 出水(设计值)	厌氧进水(实际值)	BAF 出水(实际值)
COD	400	60	85.5	21.1
BOD <sub>5</sub>	180	20	38.3	8.7
NH <sub>3</sub> -N	40	8(15)	19.9	3.9
TN	50	20	29.1	18.5
TP	5	1.0	1.7	0.8
SS	300	20	98.3	10.2

一期工程设计出水质执行一级 B 标准, 实际进水 BOD<sub>5</sub> 浓度偏低,  $\text{BOD}_5/\text{TN} = 1.3$ , 碳源严重不足, 导致氨氮、总氮去除效果不理想, 且合格率低。一期工程出水主要易超标污染物是 TN、TP, 其次是 NH<sub>3</sub>-N、SS。对比一级 A 标准, 2018 年 5 月出水 TN、TP、NH<sub>3</sub>-N 的达标率分别为 64.5%、74.2%、83.9%。

### 1.2 原因分析

一期工程生化处理系统基本满足生化处理及生物脱氮除磷的停留时间要求, 但脱氮效率较低, 分析原因如下:

① 该污水处理厂进水以工业园区废水为主, 最初设计时考虑到工业废水的纳入, 因而设计进水 COD 较高。但一期工程实际进水中工业废水比例较小, 雨污分流不完全, 进水 COD 远低于设计值, 导致生化处理难度增大。随着工业区纳管范围的扩大, 进水浓度接近设计浓度, 进水 TN 和 TP 浓度会

进一步增加, 出水合格率同样难以保证。

② 实际进水 C/N 值较低, 仅为 1.3, 远低于常规脱氮的 C/N 值不低于 4 的要求, 反硝化所需碳源严重不足, 生物脱氮除磷效果差。

③ 无后置化学除磷工艺, 仅依靠 BAF 过滤去除 SS, 无法有效保证出水 TP 及 SS 稳定达标。

## 2 提标改造工程

### 2.1 原有系统的优化

① 因提标改造期间不能停水, 故不改造一期工程现有构筑物, 仅更换或新增设备。增加沉淀区剩余污泥回流量, 提高生化池内污泥浓度及污泥龄。

② 优先考虑在一期工程生化池内脱氮, 提高脱氮效果, 确保一期工程出水氨氮达标, 力争总氮达标。增加外部碳源投加装置, 碳源补加为一期工程兼氧 1 区(乙酸钠 20 mg/L)、兼氧 2 区(乙酸钠 50 mg/L)及提标改造工程反硝化滤池配水渠(乙酸钠 30 mg/L)。

乙酸钠投加效率对比见表 2。

表 2 乙酸钠投加效率对比

Tab. 2 Comparison of sodium acetate dosing efficiency

项目	进水	兼氧 1 区	兼氧 2 区	反硝化滤池
来水 COD	85.5	42.1	25.7	21.1
补加乙酸钠		20	50	30
出水 TN	29.1	26.3	19.1	14.5

以 TN 去除量/乙酸钠补加量的比值作为效率对比依据,则兼氧 1 区、兼氧 2 区、反硝化滤池分别为 0.14、0.144、0.153,各补加点的乙酸钠投加效率比较接近,以反硝化滤池最高,分析原因是存在石英砂物理截留悬浮物而提高总氮去除率的附加效应。

③ 优化一期工程生化池运行参数,提高生物

除磷效率,再依靠后置化学除磷保证 TP 达标。

## 2.2 新建系统

① 针对生物除磷系统 TP 无法稳定达到一级 A 标准的问题,新建一座高效沉淀池,通过投加 PAC 实现化学除磷,保证 TP 达标。

② 为了加强生物脱氮及 SS 去除效果,新建一座反硝化深床滤池,可同时实现生物反硝化脱氮、物理过滤截留 SS、化学混凝去除 TP。

③ 为确保出水粪大肠菌群数达标,新建一座消毒池,通过投加含氯消毒剂联合现有紫外线消毒工艺保证微生物指标达标。

## 2.3 工艺流程

提标改造工程采用高效沉淀池-反硝化深床滤池组合工艺,具体工艺流程见图 1。

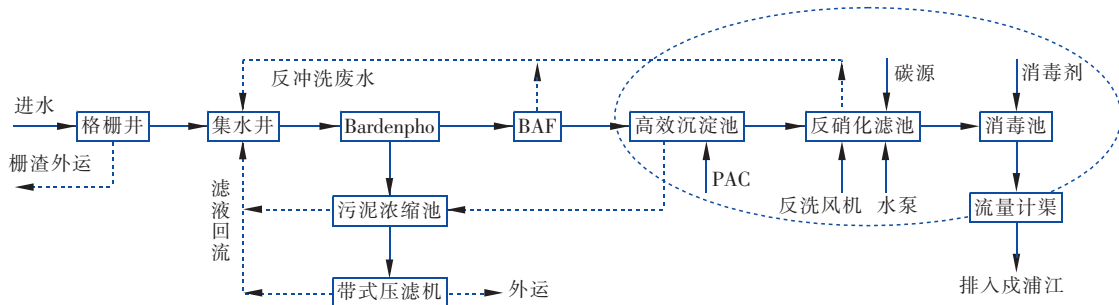


图 1 提标改造工艺流程

Fig. 1 Flow chart of upgrading and reconstruction wastewater treatment process

高效沉淀池是依托污泥化学混凝絮凝、污泥循环、斜管分离及浓缩等多种理论,通过合理的水力和结构组合设计而开发的集泥水分离与污泥浓缩功能于一体的新一代沉淀工艺。该工艺特殊的反应区和澄清区设计,尤其适用于中水回用和各类废水高标准排放领域。

反硝化深床滤池采用特殊规格及外形的石英砂、鹅卵石作为微生物的挂膜介质,深床设计为硝酸盐氮及 SS 的去除提供有利条件。高效沉淀池出水经配水渠削弱水流动能后分配至 3 座并联的反硝化滤池,由配水堰板均匀配水<sup>[1]</sup>,废水自上向下经滤料物理截留去除 SS,硝酸盐氮被附着于滤料的反硝化菌转化为氮气逸出,剩余有机物及外加碳源被反硝化菌利用,处理后出水经专用长柄滤头过滤后排出<sup>[2]</sup>。滤池反冲洗废水则回流至厂区集水池,再次经过整个污水处理流程,滤池反冲洗废水中存在的反硝化菌可增强一期工程缺氧区的反硝化效果,有利于控制较短的污泥龄,从而增强活性污泥的整体

活性<sup>[3]</sup>。

## 2.4 工程设计

提标改造工程设计规模为  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数取 1.58,设计进、出水水质见表 3。

表 3 设计进、出水水质

Tab. 3 Design influent and effluent quality

项 目	COD	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
设计进水 (BAF 出水)	60	8 (15)	20	1.0	20
设计出水 (一级 A 标准)	50	5 (8)	15	0.5	10

### 2.4.1 高效沉淀池

进水经配水区稳定水流后,经快速搅拌将进水与沉淀区回流污泥充分混合,流入絮凝反应区,与 20 mg/L 的 PAC 溶液经慢速搅拌混合后发生絮凝反应,结成较大的絮凝体,再经推流段形成大量高密度均质矾花,在沉淀区斜管层可实现快速沉降且不影响出水水质。矾花在沉淀区下部累积并浓缩,部分污泥 (25 m<sup>3</sup>/h) 经泵回流至配水区以循环利用,剩余部分由泵排入污泥浓缩池。

主要设计参数:配水区尺寸为 $3\text{ m} \times 2.7\text{ m} \times 7\text{ m}$ ,反应时间为 $8\text{ min}$ ,设置1台快速搅拌机,用于进水与回流污泥的混合;絮凝反应区尺寸为 $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 7\text{ m}$ ,反应时间为 $8.8\text{ min}$ ,设置1台双曲面慢速搅拌机,用于进水与回流污泥、PAC的混合,导流筒尺寸为 $\varnothing 2\text{ m} \times 5\text{ m}$ ,PAC投加量为 $20\text{ mg/L}$ ,沉淀区污泥回流量为 $25\text{ m}^3/\text{h}$ ;推流段尺寸为 $0.8\text{ m} \times 6\text{ m} \times 7\text{ m}$ ,介于絮凝区与沉淀区之间,絮凝区由底部出水,经推流段挡墙消能后上部翻越进入沉淀区,既能改变水流方向以缓冲动能,又能使絮凝矾花结成更大的絮凝体;沉淀区尺寸为 $6.1\text{ m} \times 6\text{ m} \times 7\text{ m}$ ,表面负荷为 $11.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

主要设备:进水电磁流量计1套;桨式快速搅拌机1台, $N=5.5\text{ kW}$ ,转速为 $89\text{ r/min}$ ;双曲面慢速搅拌机1台, $N=5.5\text{ kW}$ ,转速为 $40\text{ r/min}$ ;中心传动刮泥机1台, $N=0.55\text{ kW}$ , $\varnothing 6\text{ m}$ ,外缘线速度为 $3.5\text{ m/min}$ ;污泥循环泵3台,2用1备, $N=1.5\text{ kW}$ ;PAC自动投加装置1套,PAC配制浓度为 $5\%$ ,加药泵投加流量为 $166\text{ L/h}$ ;超声波泥水界面仪1台,测量范围为 $0.5 \sim 10\text{ m}$ ;六角蜂窝斜管 $36\text{ m}^2$ , $\varnothing=50\text{ mm}$ ,斜长为 $1\text{ m}$ ,安装角度为 $60^\circ$ 。

主要运行参数:一期工程BAF出水SS为 $20\text{ mg/L}$ ,经高效沉淀池化学除磷,并经斜管沉淀区泥水分离后,上清液SS可低于 $10\text{ mg/L}$ 。沉淀区泥位一般控制在 $1.0 \sim 1.8\text{ m}$ ,剩余污泥浓度保持在 $8 \sim 12\text{ g/L}$ ,当泥水界面仪显示污泥层高度超过 $1.8\text{ m}$ 时,通过污泥循环泵排泥。

#### 2.4.2 反硝化深床滤池

进水投加 $30\text{ mg/L}$ 乙酸钠并经配水渠均质均量后,均匀分配至3座并联的滤池内,自上向下经级配滤料物理截留、生物脱氮后,由 $1\text{ mm}$ 缝隙的专用长柄滤头排出。

主要设计参数:分3格,单格尺寸为 $11\text{ m} \times 3.3\text{ m} \times 6\text{ m}$ ,平均滤速为 $3.8\text{ m/h}$ ;反硝化容积负荷为 $0.2\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ;空床滤料有效容积为 $218\text{ m}^3$ ,反硝化负荷为 $0.46\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3\text{ 滤料} \cdot \text{d})$ 。反冲洗清水池尺寸为 $10.4\text{ m} \times 2\text{ m} \times 7\text{ m}$ ,有效容积为 $73\text{ m}^3$ ,加上另2格滤池出水,可满足单格滤池反冲洗需要。

主要设备:反冲洗风机3台,2用1备, $Q=15.96\text{ m}^3/\text{min}$ , $P=0.08\text{ MPa}$ , $N=37\text{ kW}$ ;反冲洗水泵3台,2用1备, $Q=200\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=240\text{ kPa}$ , $N=22$

$\text{kW}$ ;液位控制器3套,控制滤池高度为 $4.1 \sim 4.8\text{ m}$ ;出水电动蝶阀、反冲洗进气电动蝶阀、反冲洗进水电动蝶阀、反冲洗排水电动蝶阀各3套;乙酸钠自动投加装置1套,配制浓度为 $10\%$ ,按照去除 $5\text{ mg/L}$ 硝酸盐氮计,加药泵控制乙酸钠加药流量为 $125\text{ L/h}$ ,即 $30\text{ mg/L}$ ;硝酸盐氮自动分析仪1台,用于监测滤池进水硝酸盐氮,每 $2\text{ h}$ 检测1次,运行人员根据自动分析仪数据手动调节乙酸钠投加量,当硝酸盐氮 $>10\text{ mg/L}$ 时,按 $30\text{ mg/L}$ 补加,当硝酸盐氮 $<10\text{ mg/L}$ 时,按 $10\text{ mg/L}$ 补加;承托层为级配天然卵石,自下向上粒径分别为 $20, 12, 6\text{ mm}$ ,各层厚度均为 $0.1\text{ m}$ ,总高为 $0.3\text{ m}$ ;滤料层采用优质粗石英砂,滤料高度为 $1.7\text{ m}$ ,粒径为 $2 \sim 4\text{ mm}$ ,均匀系数为 $1.4$ ,莫氏硬度为 $6 \sim 7$ ,密度不小于 $2.6\text{ g/cm}^3$ ;滤板平面尺寸为 $0.98\text{ m} \times 0.98\text{ m}$ ,99块;长柄滤头尺寸为 $\varnothing 76\text{ mm} \times 292\text{ mm}$ ,滤缝为 $1\text{ mm}$ ,合计5544个。

主要运行参数:高效沉淀池出水SS为 $10\text{ mg/L}$ ,再经 $2 \sim 4\text{ mm}$ 级配石英砂滤料过滤,通过 $1\text{ mm}$ 专用长柄滤头,滤池出水SS可低于 $8\text{ mg/L}$ 。反硝化深床滤池采用变水位运行,设计最大水头损失为 $20\text{ kPa}$ ,滤料以上运行水位为 $1.3 \sim 2.1\text{ m}$ ;单格滤池反冲洗周期约 $3\text{ d}$ ,每次只反冲洗单格滤池,反冲洗全过程为 $20\text{ min}$ 。滤池采用自动反冲洗,反冲洗程序根据滤池水头损失或时间来控制,也可进行手动反冲洗。首先进行单独气反冲洗,强度为 $14.66\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,时间为 $5\text{ min}$ ;然后进行气水联合反冲洗,气洗强度为 $14.66\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,水洗强度为 $3.1\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,时间为 $10\text{ min}$ ;最后为水反冲洗,水洗强度为 $3.1\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,时间为 $5\text{ min}$ 。

#### 2.4.3 消毒池

滤池出水投加次氯酸钠 $6\text{ mg/L}$ (以有效氯计),经消毒池接触消毒后,由标准排放口排放。主要设计参数:分2格,总有效容积为 $140\text{ m}^3$ ,接触时间为 $20\text{ min}$ 。主要设备:出水电磁流量计1套;次氯酸钠自动投加装置1套,配制浓度为 $0.5\%$ (有效氯),加药泵加药流量为 $50\text{ L/h}$ 。

#### 2.4.4 附属构筑物

配电间1座,尺寸为 $4\text{ m} \times 6.5\text{ m} \times 3.6\text{ m}$ ,设总配电柜、风机分柜、水泵分柜、加药分柜、反洗分柜。加药间1座,尺寸为 $4\text{ m} \times 6.5\text{ m} \times 3.6\text{ m}$ ,设PAC、乙酸钠、次氯酸钠自动加药装置各1套。设备间1座,尺寸为 $10.4\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3.8\text{ m}$ ,反冲洗风机3台、



反冲洗水泵3台。管道间2座,尺寸分别为10.4 m×3 m×4.5 m、10.4 m×6 m×3 m,用于布置管阀。

### 3 提标改造运行效果

该提标改造工程于2019年5月完成,经调试和试运行后,于2019年9月进入稳定运行期。运行9个月以来,出水各项指标稳定达到一级A标准。

#### 3.1 COD处理效果

污水处理厂提标改造后实测进、出水COD如图2所示。

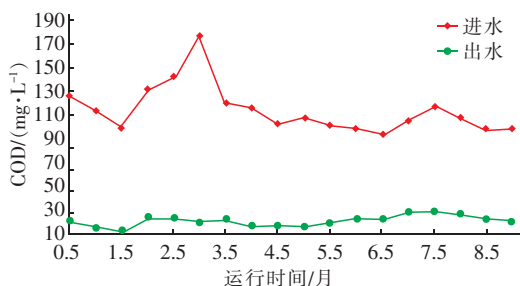


图2 2019年9月—2020年5月COD处理效果

Fig. 2 COD removal effect from Sep. 2019 to May 2020

2019年9月—12月,因园区内工业企业废水排放量增加、冬季居民生活用水量减少,造成污水处理厂进水COD波动较大,半月平均最大值为176.2 mg/L,最小值为99 mg/L,但出水COD仍能稳定达到一级A标准。2019年9月—2020年5月,9个月的平均进水COD为114.2 mg/L,平均出水COD为21.2 mg/L,平均COD去除率为81.4%,出水COD稳定达到一级A标准。

反硝化深床滤池前的配水渠内,需外加碳源乙酸钠以保证反硝化效果。在实际运行管理中,乙酸钠投加量根据进水COD、 $\text{NO}_3^-$ -N实时监测数据来调整。合理增加一期工程兼氧1区、兼氧2区的碳源投加量,充分发挥反硝化作用,可降低反硝化深床滤池的反硝化负荷。

#### 3.2 $\text{NH}_3$ -N处理效果

污水处理厂提标改造后实测进、出水 $\text{NH}_3$ -N如图3所示。2019年10月—12月,污水处理厂进水 $\text{NH}_3$ -N波动较大,半月平均最大值为26.76 mg/L,最小值为12.3 mg/L,但出水 $\text{NH}_3$ -N仍能稳定达到一级A标准。2019年9月—2020年5月的平均进水 $\text{NH}_3$ -N为14.62 mg/L,平均出水 $\text{NH}_3$ -N为0.85 mg/L,平均去除率为94.2%,出水 $\text{NH}_3$ -N稳定达到一级A标准,甚至能够达到浙江省清洁排

放标准。

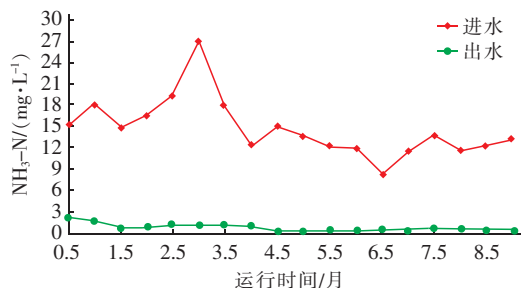


图3 2019年9月—2020年5月 $\text{NH}_3$ -N处理效果

Fig. 3  $\text{NH}_3$ -N removal effect from Sep. 2019 to May 2020

提标改造前一期工程对 $\text{NH}_3$ -N的去除效果不理想,尤其进入冬季后波动较大,且当进水 $\text{NH}_3$ -N增高时,出水 $\text{NH}_3$ -N也会随之变高,Bardenpho系统抗冲击能力较差。提标改造期间,维修/更换一期工程罗茨风机,恢复好氧池的复氧速度和能力;增加回流以提高好氧池污泥浓度并延长污泥龄,确保一期工程将 $\text{NH}_3$ -N去除殆尽<sup>[4]</sup>。

#### 3.3 TN处理效果

污水处理厂提标改造后实测进、出水TN如图4所示。

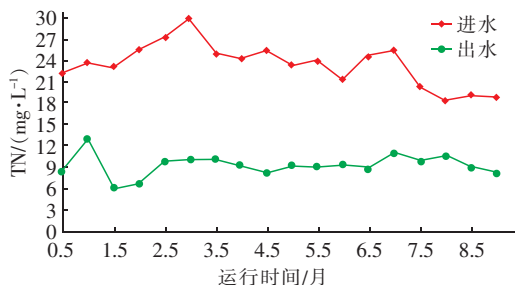


图4 2019年9月—2020年5月TN处理效果

Fig. 4 TN removal effect from Sep. 2019 to May 2020

2019年9月—2020年5月,9个月的平均进水TN为23.38 mg/L,平均出水TN为9.21 mg/L,平均TN去除率为60.6%,但出水TN稳定达到一级A标准。运行数据表明,该工艺去除TN效果一般,分析原因是工业废水比例较大且进水有机物浓度较低,导致反硝化反应难度较大。

经提标改造后,根据反硝化深床滤池进水TN浓度,需外加碳源去除5 mg/L的TN,设计乙酸钠投加量为30 mg/L。实际运行管理中,因一期工程缺氧1区、缺氧2区已增设外加碳源点,故提标改造工程按设计值的60%投加乙酸钠,实现TN的稳定达标<sup>[5]</sup>。

### 3.4 TP 处理效果

污水处理厂提标改造后实测进、出水 TP 如图 5 所示。

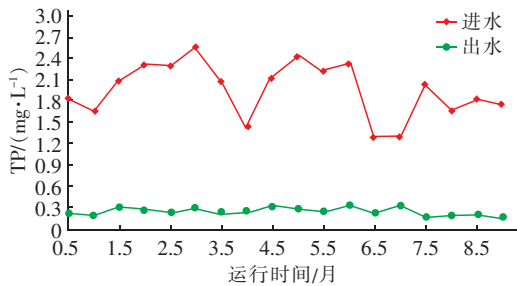


图5 2019年9月—2020年5月TP处理效果

Fig. 5 TP removal effect from Sep. 2019 to May 2020

2019年9月—2020年5月污水处理厂进水TP波动较大,半月平均最大值为2.56 mg/L,最小值为1.28 mg/L,但出水仍能稳定达标。其间平均进水TP为1.95 mg/L,平均出水TP为0.23 mg/L,平均TP去除率为88.2%,出水TP稳定达到一级A标准。

### 4 主要经济指标

总投资包括:设计30万元,土建1 375 715元,设备2 301 600元,工艺2 853 395元,室外工程309 415元,电气148 828元,总计7 288 953元。运行费用分析见表4。

表4 运行费用

Tab. 4 Operation cost 元·d<sup>-1</sup>

项目	费用	备注
人工	600	4人,4班3倒
电	100	装机容量71 kW,运行容量5 kW
水	50	配制药剂自来水10 m <sup>3</sup> /d
药剂	1 330	PAC 140 kg/d,乙酸钠175 kg/d,次氯酸钠600 kg/d
维修保养	260	设备、仪表、在线监测仪等日常运维
其他	460	税费、管理费、风险费、利润等
合计	2 800	成本为0.28元/m <sup>3</sup>

### 5 结论与建议

① 温州鹿城轻工产业园区污水处理厂利用高效沉淀池实现化学除磷功能,反硝化深床滤池实现反硝化脱氮和过滤降低SS的功能,出水水质能够稳定达到一级A标准,接近浙江省清洁排放标准。

② 除一期工程兼氧1区、兼氧2区投加外部碳源外,反硝化深床滤池也可根据滤池进水COD、

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度调整乙酸钠投加量,以实现最优脱氮效果;另可根据进水COD、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度来确定是否需要投加乙酸钠,可实现物理过滤截留和反硝化脱氮功能的切换。

③ 反硝化深床滤池设置恒液位控制,上下限水位数值可调节,滤池反冲洗后水头损失相对较小,可调小上下限水位差,整体控制滤池有较大的有效容积,以增加反硝化停留时间,增强反硝化效果。

④ 为达到现阶段提出的浙江省清洁排放标准,可通过增加高效沉淀池PAC投加量及沉淀区污泥回流量,以达到加强化学混凝除磷效果;增加反硝化深床滤池反冲洗频率,增大反冲洗强度,以减少水头损失,增强脱氮效果。

⑤ 一期提标改造工程出水由一级B标准提高至一级A标准,采用高效沉淀池+反硝化深床滤池+次氯酸钠消毒工艺是基本可行的。2019年9月—2020年5月期间,该工艺处理效果稳定,出水各项指标稳定达到一级A标准。

⑥ 该工艺运行成本为0.28元/m<sup>3</sup>,一次性投资和运行费用与国内同类工程持平。

### 参考文献:

- [1] 李亚林,袁寿其,陈义春,等. 快滤池进渠道内堰板的正交试验与优化设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2015,43(1):96-100.  
LI Yalin, YUAN Shouqi, CHEN Yichun, et al. Orthogonal test and optimization design of weir plate in the water channel of rapid filter [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition), 2015, 43(1): 96-100 (in Chinese).
- [2] 吴兴海,李咏梅. 碳氮比对不同滤料反硝化滤池脱氮效果的影响[J]. 环境工程学报,2017,11(1):55-62.  
WU Xinghai, LI Yongmei. Effect of C/N ratio on denitrification of denitrification filters with different filter materials [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(1): 55-62 (in Chinese).
- [3] 钱勇,沈仲韬,范建国,等. STS滤池组合工艺处理污水的中试研究[J]. 中国给水排水,2008,24(23):1-5.  
QIAN Yong, SHEN Zhongtao, FAN Jianguo, et al. Study on STS biofiltration technology for wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(23): 1-5 (in Chinese).

(下转第136页)