

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.20.022

# 化工园区污水处理一级A提标改造工艺及运行分析

贾莉, 傅妍芳, 龚淑芬

(池州学院 材料与环境工程学院, 安徽 池州 247000)

**摘要:** 安徽省某化工园区采用“一厂一管”封闭式压力管道方式收集废水,采用预处理+生化处理+深度处理工艺处理园区废水,预处理采用初沉+气浮+氧化工艺,生化处理采用水解+A/O工艺,深度处理采用过滤+臭氧氧化+曝气生物滤池+活性炭吸附工艺。改造后处理系统DO、MLSS和SV<sub>30</sub>均能稳定在较好的水平,出水COD<35 mg/L,均值为31.5 mg/L, NH<sub>3</sub>-N<4.20 mg/L,均值为2.78 mg/L,满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

**关键词:** 化工园区; 提标改造; 深度处理; 臭氧氧化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)20-0124-07

## Analysis on First Level A Criteria Upgrading Process and Operation of Wastewater Treatment in a Chemical Industrial Park

JIA Li, FU Yan-fang, GONG Shu-fen

(School of Materials and Environmental Engineering, Chizhou University, Chizhou 247000, China)

**Abstract:** In a chemical industrial park in Anhui Province, the closed pressurized pipe of “one plant and one pipe” was adopted to collect wastewater. The process of pretreatment, biochemical treatment, and advanced treatment was adopted to treat wastewater in the park. Primary precipitation, air floatation, and oxidation process were used for pretreatment. Hydrolysis and A/O were used for biochemical treatment. Filtration, ozone oxidation, BAF, and activated carbon adsorption were used for advanced treatment. After modification, DO, MLSS and SV<sub>30</sub> can be stabilized at a lower level, the effluent COD concentration was less than 35 mg/L with an average of 31.5 mg/L, and NH<sub>3</sub>-N concentration was less than 4.20 mg/L with an average of 2.78 mg/L, which meet the first level A criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

**Key words:** chemical industrial park; upgrading and reconstruction; advanced treatment; ozone oxidation

化工园区各企业排水差异较大,成分复杂,且水质水量变化和波动范围大,经企业内部处理后进入园区污水处理厂,其废水中的有机物难降解,且含有毒、有害物质,增加了园区污水处理厂的处理难度。随着国家对污、废水处理标准的提高和环保要求的愈加严格,很多工业园区现有污水处理规模和处理程度难以满足环保要求,面临提标改造和扩容的

压力。

### 1 化工园区概况及进、出水水质

某化工园区位于安徽西南长江南岸,主导产业为化工新材料、生物制药和化学原料药,园区污水处理厂废水以农药和医药中间体废水为主,目前运行的一期规模为5 000 m<sup>3</sup>/d,已接近饱和状态,一期提标改造在2019年完成,正在进行二期1×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d建设,

计划在中远期设计规模达到 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。采用“一厂一管”封闭式压力管道方式收集废水,各企业各设一个排放总口和一根压力管,由污水处理厂统一编号和设置,以污水处理厂可利用水头损失为基准点,根据流量、管径和流速确定各企业压力,选择合适的提升泵扬程,送至污水处理厂,在实际运行中根据水量均衡需要调节压力干管或支管闸门的开启度进行水量截流,调整系统流量。排放口设有闸阀、流量计、取样装置和计量箱,日常纳水先对企业取样分析,达到接管水质要求则排入污水处理厂收集管道,达不到接管要求的企业,需先在厂内预处理达到接管要求后,再进入污水处理厂收集管道。废水进水管路中设有 pH、 $\text{NH}_3\text{-N}$  和 COD 监测仪表,确保各企业排水达到污水处理厂的纳管标准。

为保证园区污水处理厂顺利运行且出水达标,同时考虑入驻企业的建设和预处理成本,污水处理厂确定进水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的三级标准。提标前一期出水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级标准,为打造美丽长江经济带和发展绿色产业,按要求需提标到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准,原处理工艺无法达到该标准,2019 年对深度处理工艺进行了提标改造,同时新增应急事故水(+初期雨水)处理工艺,改造后的出水水质达到一级 A 标准,尾水通过 4.7 km 埋地式压力管道由泵送至长江。主要进、出水指标见表 1。

表 1 园区废水接管及排放标准

Tab.1 Wastewater take-over and discharge standard of the park  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	进水	出水
COD	$\leq 500$	50
$\text{BOD}_5$	$\leq 300$	10
氨氮	$\leq 25$	5(8)
SS	$\leq 400$	10
总氮	$\leq 30$	15
总磷	$\leq 4$	0.5
标准	园区污水处理厂接管标准	《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准

## 2 工艺说明

### 2.1 原处理工艺

采取预处理+生化处理+深度处理工艺进行处理,预处理采用初沉+气浮+氧化,生化处理采用水解+A/O,深度处理采用曝气生物滤池+活性炭过滤。工艺流程见图 1。

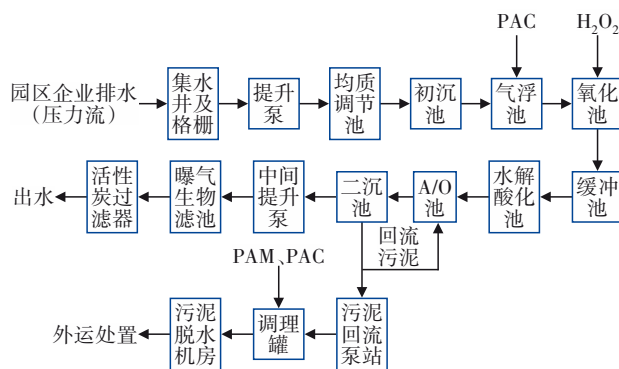


图 1 原工艺流程

Fig.1 Original flow chart of wastewater treatment process

该园区化工企业废水水质水量变化大,成分复杂,除常规污染物外,还含有苯胺类、总盐量、甲苯类、苯酚、醛类等特征污染物,有一定毒性和高盐性,对生化系统有一定抑制作用,虽纳管时要求各企业对生化系统有毒和抑制性的污染因子进行预处理达到无害化标准,但随着入驻企业越来越多,有机物的成分也越来越复杂,进入园区污水处理厂的废水经企业处理后易降解的有机物也基本被去除,园区需要处理的多为结构复杂难以生物降解的有机物。原 A/O 工艺中可利用碳源不足,影响生化效果和脱氮效率,需强化碳源的利用;一级生化处理后直接进入二级生化处理的曝气生物滤池,进水生化性较差,降解效率低,需要高级氧化技术强化深度处理单元,提高有机物的可生化性和去除率。另外,为了最大程度地降低化工企业事故水引发次生水环境污染的概率,需设置事故水和初期雨水收集和处置单元,原有工艺无法满足处理要求。

### 2.2 改造后工艺

对排放到污水处理厂各企业的特征污染物进行监测,结合企业的环评,分析进水水质,同时参考其他园区类似工程的处理工艺,增加预处理能力,充分利用原有处理设施,对生化处理单元老旧设备进行更换,挖掘现有池体的处理潜力,强化碳源的利用,增加深度处理单元,提高污水可生化性,提升

深度处理工效,确保出水稳定达标。改造后的工艺流程见图2。

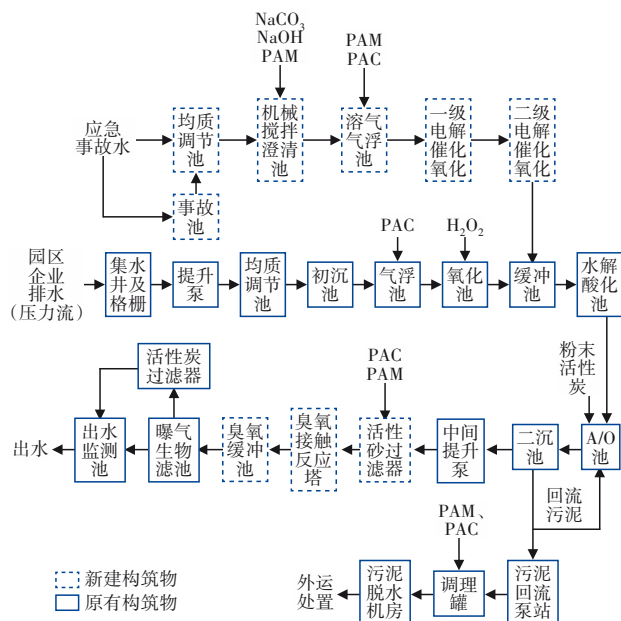


图2 改造后工艺流程

Fig.2 Flow chart of wastewater treatment process after upgrading

### 2.2.1 应急事故水处理

在原有工艺措施不变的基础上,新增加了应急事故水(+初期雨水)处理单元,因农药和医药中间体生产一旦发生事故,废水中含有的有机毒性物质会对生物处理单元造成冲击。为进一步增强风险防范能力,园区根据应急事故水的特性,结合国内外对农药中间体、医药中间体废水处理的研究成果和运行经验以及试验结果<sup>[1-3]</sup>,采用均质调节、机械搅拌澄清、溶气气浮、电解催化氧化等处理技术,在机械搅拌澄清池中投加PAM、碳酸钠、氢氧化钠等药剂,主要去除应急事故水中的钙镁硬度及密度较大的悬浮固体和胶体。溶气气浮池去除水中密度较小的悬浮物和油类,两级电解催化氧化装置是应急事故水处理的核心单元,产生的羟基自由基可氧化部分有毒和难降解的大分子有机物,提高污水可生化性,避免在发生事故时对生化系统的微生物造成冲击,确保园区废水处理能达到一级A排放标准。电解催化氧化出水与园区企业排水一起进入原污水处理厂的缓冲池混合,应急事故水处理单元同时也是初期雨水处理单元。

### 2.2.2 预处理

由于化工废水中难降解的有机物较多,还有一

定的毒性,需强化预处理。该园区采用过氧化氢氧化+水解酸化来强化预处理。对以制药或制药中间体为主的废水,高级氧化和水解酸化等强化预处理是较为成熟和常用的工艺<sup>[4-5]</sup>,氧化池过氧化氢对苯和酚类有机物去除效果较好<sup>[6]</sup>,可以降低废水的毒性,在水解酸化池内经微生物作用进一步将难生物降解的有机物转为易降解的中间体,提高污水的可生化性。

### 2.2.3 二级处理

水解酸化池出水进入生化系统的缺氧池(A池)和好氧池(O池)。A池内设机械搅拌,从O池内回流的硝化液回流至A池进行反硝化反应,将可生化性好的企业废水直接引入A池,提供碳源,将部分硝态氮还原成氮气;O池内设管式膜微孔曝气器进行曝气,大部分有机污染物在O池去除,并将氨氮转化为硝态氮,同时吹脱污水中的氮气;O池出水进入辐流式二沉池进行固液分离;改造后在二级生化池投加粉末活性炭<sup>[7-9]</sup>,投加点设置在A池进水端,采用直接干投的方式与回流的污泥和进水混合后一起进入A池,投加量为50~100 mg/L,通常为60~80 mg/L,粉末活性炭和剩余污泥一起进入污泥脱水系统,通过粉末活性炭吸附与微生物降解的协同作用强化对有机物和色度的去除。

### 2.2.4 深度处理

二级生化处理出水仍难以满足COD≤50 mg/L的要求,深度处理单元增加活性砂过滤、臭氧催化氧化,更换了曝气生物滤池的设备,这是提标改造的重点。活性砂过滤器加入PAC、PAM,集混凝和过滤为一体,确保出水SS达标,也能去除部分TP和硝态氮等;增设的臭氧高级氧化工艺在化工废水的深度处理或提标改造中应用较多<sup>[10-12]</sup>,在催化剂的作用下形成的·OH对有机物氧化性强,可将二级处理未降解的杂环类和复杂有机物转化为无机物或断链为小分子有机物,提高有机物的可生化性<sup>[13]</sup>;臭氧接触反应塔后设置臭氧缓冲池是为了避免残余臭氧对后续曝气生物滤池中的微生物的毒害作用。曝气生物滤池也常被用于废水的深度处理<sup>[14-15]</sup>,进一步提高COD的去除效果,并使部分氨氮转化为硝态氮,出水进入出水监测池,经在线监测达标后外排。若因工艺运行异常或来水冲击较为严重而导致出水不达标,则通过活性炭过滤吸附装置进一步处理,确保出水稳定达标。臭氧催化氧



化和后续的曝气生物滤池+活性炭组合使用,提升了深度处理的效果,可确保出水达标排放。

## 2.3 主要处理单元及设计参数

主要处理单元及设计参数见表2。

表2 主要处理单元及设计参数

Tab.2 Main processing unit specifications and design parameters

项 目	数量	设计参数
格栅渠	2条	$L \times B = 7.7 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ , 格栅有效宽度 0.6 m, 渠道深 6.8 m。回转式机械格栅, 栅前水深 500 mm, 有效宽度 600 mm, 倾角 $75^\circ$ , 过栅流速 0.6 m/s
提升泵站	1座	$L \times B = 6.0 \text{ m} \times 4.4 \text{ m}$ , 3台潜污提升泵, 单台流量 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ , 扬程 0.15 MPa
均质池	2座	低浓度废水均质池 $L \times B \times H = 13.0 \text{ m} \times 18.5 \text{ m} \times 6.3 \text{ m}$ , 有机废水均质池 $L \times B \times H = 19.3 \text{ m} \times 18.5 \text{ m} \times 6.3 \text{ m}$ , 半地下钢筋混凝土结构, 硫酸、NaOH 储罐各 1 台, 均质时间 8 h, 事故调节时间 9 h
初沉池	2格	$L \times B = 9.3 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ , 水深 5.8 m, 设有玻璃钢斜板, 单块斜板规格: $L \times B = 1 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ , 沉淀时间 1 h, 表面水力负荷为 $3.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 半地下钢筋混凝土结构
气浮池	2套	$L \times B = 6.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ , 钢制成套设备, 单台流量 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ , 停留时间 30 min, 溶气回流比 30%, $\phi \times H = 4.6 \text{ m} \times 4.6 \text{ m}$
氧化池	1座	$L \times B = 8.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$ , 水深 6.0 m, 半地下钢筋混凝土结构, 停留时间为 1.5 h, $\text{H}_2\text{O}_2$ 投加量 30 mg/L
缓冲池	1座	$L \times B = 8.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$ , 水深 6.0 m, 停留时间为 2.1 h, 半地下钢筋混凝土结构, 设有立式搅拌机
水解酸化池	1座	$L \times B = 33.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$ , 水深 6.0 m, 停留时间为 10 h, 半地下钢筋混凝土结构, 半软性组合填料 1 380 $\text{m}^3$
A/O 池	1座	分两组运行, $L \times B = 33.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$ , 水深 6.0 m, 半地下钢筋混凝土结构, 总停留时间 31 h, 其中 A 池为 8.5 h, O 池为 22.5 h, 污泥负荷 $0.15 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ , 混合液污泥浓度 3 000 mg/L, 污泥回流比 100%, 混合液回流比 200%。A 池设置潜水搅拌机 2 台, 回流泵 6 台, 采用管式膜微孔曝气器, 增投半软性组合填料
二沉池	1座	中心进水、周边出水辐流式沉淀池, 池径 20 m, 半地下钢筋混凝土结构, 表面水力负荷 $0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 沉淀时间 4.0 h, 池边水深 3.0 m
中间提升泵站	1座	有效容积 252 $\text{m}^3$ , 3台潜污提升泵, 单台流量 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , 扬程 0.30 MPa
砂滤罐	2套	单套处理能力 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 。过滤器直径 2.5 m, 砂床高度 2.0 m, 滤料粒径 1.0~1.4 mm, 不均匀系数 <1.4
臭氧接触反应塔	2套	处理能力 62.5 $\text{m}^3/\text{h}$ , 反应时间 $\geq 30 \text{ min}$ , 设备尺寸 $\phi 3.6 \text{ m} \times 11.0 \text{ m}$ 。臭氧发生器 2 台, 额定产量 8 kg/h, 每台容量 316 L, 气源 2 套, 内循环单元 2 套, 尾气破坏系统 1 套
曝气生物滤池	1座	分为 3 格, 总有效容积为 306 $\text{m}^3$ , 停留时间为 1.5 h, 钢混结构, 承托层卵石粒径 8~32 mm, 球形轻质多孔生物陶粒滤料粒径 3~6 mm, 滤速 2.78 m/h, 强制滤速 4.17 m/h, 水冲强度 $21.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 气冲强度 $54 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 反冲洗周期 16~24 h
活性炭罐	2台	$\phi \times H = 3.2 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$ , 单台处理能力为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$

## 3 实际运行效果分析

### 3.1 水量和水质

园区对各企业的 COD、氨氮、pH、盐分、色度、特征物、水量等进行日常监测, 其中盐分为 1 500~5 000 mg/L, 特征物包括磷酸盐和苯胺, 两者含量均不高。园区各企业每天进水不同, 部分企业每天持续进水, 部分企业间断进水, 水质水量波动较大, 进水量较大的  $400 \text{ m}^3/\text{d}$  左右, 较小的  $100 \text{ m}^3/\text{d}$  左右, COD 较高的 450 mg/L 左右, 较低的 100 mg/L 左右,  $\text{NH}_3\text{-N}$  较高的 20 mg/L 左右, 较多企业为 10 mg/L 左右, 进水总磷除个别企业外, 基本在 0.5 mg/L 以下。进水水质和水量的均质调节在均质池内进行。

### 3.2 主要污染物去除效果

#### 3.2.1 COD 去除效果

进、出水 COD 变化见图 3。

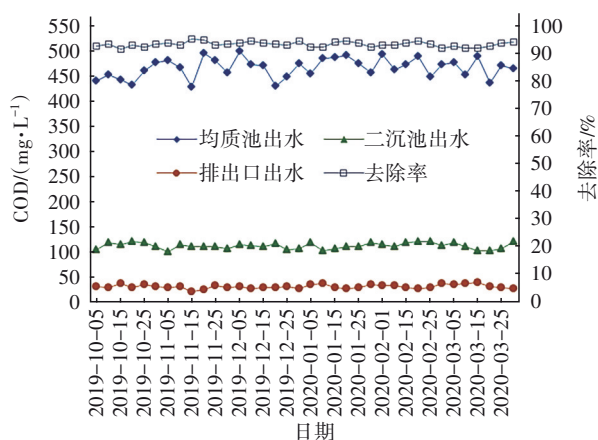


图3 进、出水 COD 和去除率变化曲线

Fig.3 Change curve of influent and effluent COD and removal rate

由图 3 可知, 经均质池调节后, COD 基本为 430~500 mg/L, 二沉池出水 COD 基本为 100~120 mg/L,

水质波动不大;经深度处理后,出水COD为19~35 mg/L,均值为31.5 mg/L,COD去除率为92%~95%。深度处理单元改造后,COD的去除能力得到显著提升,这与改造后A/O池增加了粉末活性炭、臭氧催化氧化等单元有直接关系。

### 3.2.2 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果

进、出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化见图4。

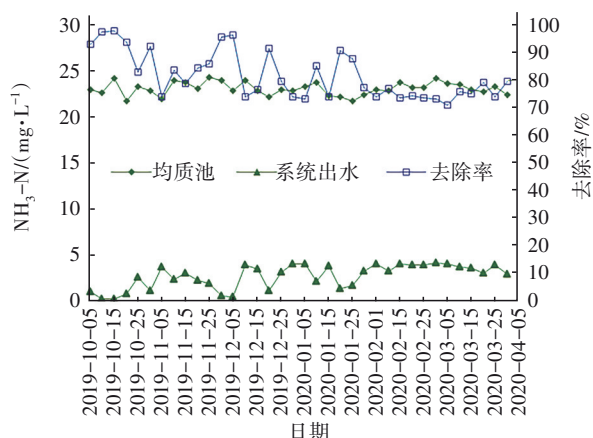


图4 进、出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和去除率变化曲线

Fig.4 Change curve of influent and effluent  $\text{NH}_3\text{-N}$  and removal rate

从图4可以看出,均质池出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 最高浓度为24.31 mg/L,最低浓度为21.75 mg/L,升级改造后出水浓度变化范围为0.32~4.20 mg/L,均值为2.78 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率变化范围为71%~98%。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率受温度的影响较大,10月时基本处于90%以上,2月去除率较低,基本在70%~80%之间,3月开始缓慢回升。运行期间出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 维持在4.2 mg/L以下(氨氮的去除与进水可生化性的调整、生化处理单元的强化和深度处理单元的增加均有一定的关系),出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度能稳定达标,系统运行较为稳定,具有一定的抗冲击负荷能力。

### 3.3 生物处理单元指标分析

溶解氧是污水处理生化反应单元的重要控制指标之一<sup>[16]</sup>。二级生化处理A/O池的A池DO基本处于0.15~0.30 mg/L之间,O池DO浓度为2.00~2.50 mg/L,当曝气池DO>2 mg/L时能保持较为稳定的降解和硝化效果<sup>[17]</sup>。曝气生物滤池DO基本维持在0.97~1.36 mg/L之间。混合液污泥浓度(MLSS)和污泥沉降比( $\text{SV}_{30}$ )对指导运行管理具有重要的实用意义<sup>[18]</sup>,A/O生化单元MLSS均在2.4~2.9 g/L之间,A池 $\text{SV}_{30}$ 为12%~19%,O池 $\text{SV}_{30}$ 为14%~19%,A

池的稍低于O池,污泥结构较好、颗粒大,污泥颜色为棕黄色或微红褐色,有较好的沉降性能,这与填料和活性炭的投加也有一定的关系。

## 4 运行经验

### 4.1 均衡水质水量

园区污水处理厂对每家企业的进水管进行监测,一旦超标则禁止接入,异常排污、事故排水进入应急事故池,两股废水都分别经过加压进入各自的均质调节池,在均质池内设鼓风曝气搅拌,以防止悬浮物沉积,也使污水水质混合均匀,均质池多余的水量溢流进入各自事故调节池,两股废水进水管路中分别设有pH监测仪表、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和COD监测仪表等,确保生化系统稳定运行。

### 4.2 提高废水的可生化性

在配水系统设置7个储水罐,将园区企业排放的达到接管标准的废水,根据废水的水质情况储存在储水罐中,按照可生化性进行搭配进水,均匀水质,以适应污水处理厂的工艺要求。另外,因进入污水处理厂中的废水可生化性差、营养缺失,故将园区部分企业的废水(主要含甲醇、乙醇等易生化有机物)直接排入A/O生化工艺的A池,向生化区域补充C、N、P等营养物,提高废水的可生化性。改造后在深度处理单元增设臭氧催化氧化工艺,在氧化部分难降解COD的同时对污水中的有机物成分进行改性,强化对难降解有机物的去除。

### 4.3 充分利用现有设施的处理潜力

强化生物处理潜力,在A/O生化池增设填料,提高生化池污泥浓度,以提高TN去除率;在二级生化单元的O段投加粉末活性炭,强化好氧生物处理的效果。对曝气生物滤池的填料进行更换,充分挖掘其潜力,装填比表面积高的轻质陶粒填料,一方面提供载体,另一方面也起到物理过滤作用。

## 5 成本及效益

该园区污水处理厂提标改造工程总投资为4 058.70万元,改造后废水处理直接费用为6.64元/ $\text{m}^3$ ,包括电费1.77元/ $\text{m}^3$ ,药剂费(PAC、PAM、粉末活性炭、液氧、氢氧化钠、碳酸钠、硫酸、臭氧催化剂等)2.08元/ $\text{m}^3$ ,化验和维护费0.68元/ $\text{m}^3$ ,人工费1.75元/ $\text{m}^3$ ,其他费用0.36元/ $\text{m}^3$ 。该工程对COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS的削减量分别为182.50、36.50、27.38、127.75 t/a。

## 6 结论

园区污水处理厂应急事故水采用两级电解催化氧化,工业废水采取预处理(初沉+气浮+化学氧化)+生化处理(水解+A/O)+深度处理(过滤+臭氧催化氧化+曝气生物滤池+活性炭吸附)的工艺流程,挖掘原有设施处理潜力,采用臭氧催化氧化强化深度处理单元,处理系统的进、出水水质较为稳定,运行高效。实际运行结果表明,经强化深度处理后出水COD变化范围为19~35 mg/L,均值为31.5 mg/L,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化范围为0.32~4.20 mg/L,均值为2.78 mg/L,均稳定满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

## 参考文献:

- [1] 胡大波,陈冠寰,杜聪,等.催化氧化-生化法处理高浓度制药废水研究[J].环境科学与技术,2016,39(S1):311-314.  
HU Dabo, CHEN Guanhuan, DU Cong, *et al.* Research on the treatment of high-concentration pharmaceutical wastewater by electro-catalytic oxidation and biological process [J]. Environmental Science & Technology, 2016, 39(S1):311-314(in Chinese).
- [2] 刘峻峰,黄琳琳,李姗姗,等.电催化氧化对制药废水二级出水的深度处理效能[J].环境工程学报,2016,10(11):6269-6274.  
LIU Junfeng, HUANG Linlin, LI Shanshan, *et al.* Deep treatment efficiency of electrochemical catalytic oxidation for secondary effluent pharmaceutical wastewater [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(11): 6269-6274(in Chinese).
- [3] 王立璇,马宏瑞,孟高飞,等.DSA电极催化氧化法处理制药废水的应用研究[J].工业水处理,2017,37(7):35-38.  
WANG Lixuan, MA Hongrui, MENG Gaofei, *et al.* Study on the application of catalytic-oxidation process with DSA electrode to the treatment of pharmaceutical wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2017, 37(7):35-38(in Chinese).
- [4] 赵丽红,聂飞.水处理高级氧化技术研究进展[J].科学技术与工程,2019,19(19):1-9.  
ZHAO Lihong, NIE Fei. Research progress in advanced oxidation technology for water treatment [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(19): 1-9 (in Chinese).
- [5] 石谷金.高级氧化技术在水处理中的应用[J].中国资源综合利用,2018,36(3):58-60.  
SHI Gujin. Application of advanced oxidation processes in water treatment [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018, 36(3):58-60(in Chinese).
- [6] 陆曦,于杨,沈丽娜,等.臭氧耦合过氧化氢预处理褐煤气化废水的研究[J].工业水处理,2018,38(3):58-60.  
LU Xi, YU Yang, SHEN Lina, *et al.* Research on the pretreatment of lignite gasification wastewater by ozone coupled with hydrogen peroxide [J]. Industrial Water Treatment, 2018, 38(3):58-60(in Chinese).
- [7] 贾瑞琦,陈梦雪,李丹阳,等.生物粉末活性炭工艺生物质量浓度测定方法比较[J].中国给水排水,2020,36(9):17-21.  
JIA Ruiqi, CHEN Mengxue, LI Danyang, *et al.* Comparison of biomass concentration determination methods in biological powdered activated carbon process [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(9): 17-21 (in Chinese).
- [8] 李俊,刘晓晶,贺正泽,等.煤化工废水难降解有机物的处理技术研究进展[J].应用化工,2018,47(12):2786-2790.  
LI Jun, LIU Xiaojing, HE Zhengze, *et al.* Research progress in the treatment of refractory organic compounds in coal-chemical industrial wastewater [J]. Applied Chemical Industry, 2018, 47(12): 2786-2790 (in Chinese).
- [9] 刘晓晶,李俊,朱海晨,等.活性炭吸附高盐废水COD的影响因素及应用[J].应用化工,2020,49(6):1519-1522.  
LIU Xiaojing, LI Jun, ZHU Haichen, *et al.* The influence factors and application of activated carbon adsorbing COD in high salt wastewater [J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(6): 1519-1522 (in Chinese).
- [10] 栗文明,白永刚,周军,等.臭氧催化氧化应用于工业园区污水处理厂深度处理工艺的选择及设计[J].给水排水,2019,45(5):90-93.  
LI Wenming, BAI Yonggang, ZHOU Jun, *et al.* Selection and design of catalytic ozonation in wastewater advanced treatment of industrial park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(5): 90-93 (in Chinese).
- [11] 原效凯,李巍,毕芳,等.化工农药废水处理提标改造工程设计与实践[J].中国给水排水,2020,36(4):

- 114-118.
- YUAN Xiaokai, LI Wei, BI Fang, *et al.* Design and practice of upgrading and reconstruction of chemical pesticide wastewater treatment plant[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(4): 114-118(in Chinese).
- [12] 王姣,刘思相,孙黎明. 河北某化工园区污水深度处理工艺设计[J]. *水处理技术*, 2021, 47(3): 137-140.
- WANG Jiao, LIU Sixiang, SUN Liming. Process design of wastewater advanced treatment from a chemical industrial park in Hebei Province [J]. *Technology of Water Treatment*, 2021, 47(3): 137-140(in Chinese).
- [13] 高明龙,夏立全,陈贵锋,等. 臭氧催化氧化深度处理亚麻生产废水实验研究[J]. *水处理技术*, 2020, 46(6): 100-102, 106.
- GAO Minglong, XIA Liquan, CHEN Guifeng, *et al.* Study on advanced treatment of flax production wastewater by ozone catalytic oxidation [J]. *Technology of Water Treatment*, 2020, 46(6): 100-102, 106 (in Chinese).
- [14] 刘玮. 2级厌氧反应器处理发酵类抗生素废水[J]. *水处理技术*, 2018, 44(7): 78-82.
- LIU Wei. Treatment of fermentation antibiotic wastewater by two-stage anaerobic reactor [J]. *Technology of Water Treatment*, 2018, 44(7): 78-82(in Chinese).
- [15] 魏健,何锦垚,宋永会,等. 臭氧催化氧化-BAF深度处理抗生素废水效能及微生物群落结构分析[J]. *环境科学学报*, 2020, 40(6): 2090-2100.
- WEI Jian, HE Jinyao, SONG Yonghui, *et al.* Advanced treatment of antibiotic wastewater by catalytic ozonation combined with BAF process and an analysis of the bacterial community structures [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, 40(6): 2090-2100(in Chinese).
- [16] 沈晓佳,陈雪祥,徐一兰,等. 浙江某城镇污水处理厂一级A提标改造后运行优化分析[J]. *净水技术*, 2020, 39(12): 25-29.
- SHEN Xiaojia, CHEN Xuexiang, XU Yilan, *et al.* Operation optimization analysis of an upgrading WWTP in Zhejiang Province [J]. *Water Purification Technology*, 2020, 39(12): 25-29(in Chinese).
- [17] 徐一兰,沈晓佳,陈雪祥,等. SBR和A<sup>2</sup>/O工艺在污水处理厂脱氮应用比较[J]. *水处理技术*, 2018, 44(5): 127-130.
- XU Yilan, SHEN Xiaojia, CHEN Xuexiang, *et al.* Application comparison of SBR and A<sup>2</sup>/O processes for denitrification in wastewater treatment plant [J]. *Technology of Water Treatment*, 2018, 44(5): 127-130 (in Chinese).
- [18] 胡丽萍,阮辰旻. 利用污泥沉降比SV<sub>30</sub>分析生化工艺运行状况[J]. *净水技术*, 2016, 35(2): 105-108.
- HU Liping, RUAN Chenwen. Analysis of operation conditions of biochemical treatment processes by sludge setting ratio(SV<sub>30</sub>) [J]. *Water Purification Technology*, 2016, 35(2): 105-108(in Chinese).

作者简介:贾莉(1979- ),女,安徽萧县人,硕士,副教授,主要研究方向为水污染防治技术。

E-mail: 53185125@qq.com

收稿日期: 2021-06-20

修回日期: 2021-07-26

(编辑:衣春敏)

尊法学法守法用法, 治水管水兴水护水