

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.22.018

# MBBR+臭氧催化氧化用于工业区污水厂提标扩建

张永森<sup>1,2</sup>, 夏文辉<sup>1,2</sup>, 董文博<sup>1,2</sup>, 杨楠<sup>1,2</sup>, 徐岩松<sup>3</sup>

(1. 天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392; 3. 威海水务投资有限责任公司, 山东 威海 264200)

**摘要:** 威海某工业区污水处理厂一期工程建设规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 进水60%~70%为难降解工业废水。在对现状进水水质进行分析的基础上, 合理确定改造工程进水水质, 扩建后总处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 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。提标扩建工艺为MBBR+磁混凝沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+V型滤池, 实际运行结果表明, 出水水质可稳定达到一级A标准。

**关键词:** 工业区污水处理厂; MBBR; 臭氧催化氧化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)22-0107-04

## Application of MBBR and Ozone Catalytic Oxidation in Upgrading and Expansion of an Industrial Park WWTP

ZHANG Yong-sen<sup>1,2</sup>, XIA Wen-hui<sup>1,2</sup>, DONG Wen-bo<sup>1,2</sup>, YANG Nan<sup>1,2</sup>,  
XU Yan-song<sup>3</sup>

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300392, China;  
2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin 300392, China; 3.  
Weihai Water Investment Co. Ltd., Weihai 264200, China)

**Abstract:** The first phase capacity of the wastewater treatment plant (WWTP) in an industrial park of Weihai is  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , and 60%~70% of the influent water is refractory industrial wastewater. The influent quality is determined reasonably through the analysis of the current influent water quality and the total capacity is expanded to  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The design effluent should meet the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). The combined process of MBBR, magnetic coagulation sedimentation tank, denitrification filter, ozone catalytic oxidation tank, and V-type filter is adopted. The actual operation results show that the effluent quality reaches the standard stably.

**Key words:** industrial park wastewater treatment plant; MBBR; ozone catalytic oxidation

山东省威海市某工业区污水处理厂工程总建设规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 分两期建设。一期工程建设规模为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准, 于2009年投产运行。为了满足山东省《流域水污染物综合排放标准 第5部分: 半岛流域》(DB 37/

3416.5—2018), 以及因工业区扩张导致污水处理需求的增长, 拟对污水处理厂实施二期工程建设, 同时对一期工程出水水质进行提标。提标扩建后, 总处理规模达到 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 出水水质达到一级A标准。

### 1 一期工程现状

一期工程采用AAO+AO处理工艺, 无深度处理

段。设计进水COD为1 000 mg/L, BOD<sub>5</sub>为350 mg/L, SS为400 mg/L, NH<sub>3</sub>-N为60 mg/L, 总氮为80 mg/L, 总磷为8 mg/L, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。

根据调研,该厂废水以工业废水为主,占60%~70%,主要包含化工废水、制革废水、毛纺废水和豆制品加工废水等,进水水质复杂,污染物浓度较高,并且含有难降解的有机污染物。

## 2 二期工程设计方案

### 2.1 设计进、出水水质

由于现状进水部分指标与一期设计进水指标有较大偏差,因此需对进水水质重新进行分析。现状进水污染物浓度高于《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)对排入城市污水系统的污水水质要求,在考虑污水处理厂实际需求的前提下,在现状进水水质90%保证率基础上,同时考虑远期水质变化,综合确定本次扩建改造工程设计进水水质:COD为800 mg/L、BOD<sub>5</sub>为150 mg/L、SS为300 mg/L、NH<sub>3</sub>-N为50 mg/L、TN为80 mg/L、TP为15 mg/L、pH为6.0~9.0。设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

### 2.2 工艺流程

工艺流程见图1。

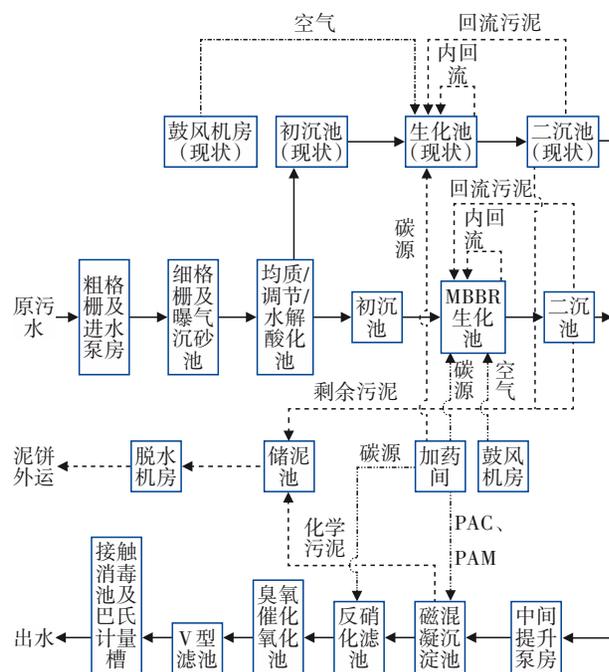


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

### 2.3 主要建(构)筑物设计参数

#### ① 新建均质/调节/水解池

为了减小水量、水质波动对生化池的冲击,同时提高生化池进水的可生化性,新建了均质/调节/水解池,以均质调节为主、水解酸化为辅。设计流量为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $K_z=1.00$ ,有效水深8 m,停留时间7.94 h。

#### ② 现状生化池改造和新建MBBR生化池

由于用地紧张,经过方案比选,生化段确定采用基于A<sup>2</sup>O的MBBR工艺,该工艺通过向生化池内投加一定量的生物膜悬浮载体填料,使微生物附着生长在填料内。悬浮填料表面为好氧微生物,内部以厌氧及兼氧微生物为主。悬浮填料在搅拌器及曝气时上浮空气的搅拌作用下,其附着生长的微生物与污水充分接触,可以提高传质效率,并不断更新悬浮载体填料上生物膜。大量微生物附着生长在悬浮载体填料上,不但能提高生化池内污泥浓度,而且能增强抗冲击负荷能力,有效提高生化池内微生物处理污染物的效率<sup>[1]</sup>。

生化池设计2座,对现状1座进行改造,同时再新建1座。

改造现状生化池。现状生化池采用AAO+AO工艺,1座。设计流量 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $K_z=1.2$ ,总水力停留时间20.92 h,其中厌氧区3.35 h、缺氧区3.35 h、好氧区10.04 h、后置缺氧区2.51 h、后置好氧区1.67 h。改造时,各区原停留时间不变,在好氧区及后置好氧区投加悬浮性填料,填料填充率为40%。

新建MBBR生化池。1座,分2格,设计流量 $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $K_z=1.2$ ,采用AAO工艺,污泥负荷为 $0.048 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,污泥浓度 $4.0 \text{ g/L}$ ,污泥龄15 d,总水力停留时间22.29 h,其中,预缺氧区1.01 h、厌氧区1.90 h、缺氧区6.68 h、好氧区9.90 h、兼氧区2.80 h,总有效池容 $33\,428 \text{ m}^3$ ,有效水深7 m,混合液回流比100%~300%。在好氧区投加悬浮性填料,填料填充率为40%。

生化池采用固体乙酸钠作为外加碳源,投加量为 $123.08 \text{ mg/L}$ (以100%纯度计)。

#### ③ 新建磁混凝沉淀池

由于进水TP浓度较高,难以仅用生物法去除,因此需要同时采用化学法除磷。磁混凝沉淀工艺是在使用传统混凝剂及助凝剂前提下,在混凝过程中加入磁粉,利用磁粉密度较大的特性,从而增加

絮体的密度,强化絮体的沉降性能。另外,通过设置磁粉回收系统,使磁粉能够重复利用<sup>[2]</sup>。设计流量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , $K_z=1.2$ 。磁混凝沉淀池1座,分2个系列,单个系列分别为反应池T1、T2、T3以及沉淀池。反应池T1投加PAC,投加量为 $171 \text{ mg/L}$ (以10%浓度计),水力停留时间为 $1.95 \text{ min}$ 。反应池T2投加磁粉,投加量为 $5 \text{ mg/L}$ ,水力停留时间为 $1.93 \text{ min}$ 。反应池T3投加PAM,投加量为 $1 \text{ mg/L}$ ,水力停留时间为 $3.56 \text{ min}$ 。澄清池平均表面水力负荷为 $16.51 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

#### ④ 新建反硝化滤池

由于进水TN浓度较高,C/N失衡,仅利用生化池难以完全去除TN,因此选用反硝化滤池去除TN。通过向反硝化滤池中投加碳源,利用反硝化细菌,将硝态氮和亚硝态氮转化为氮气。

反硝化滤池作为污水的深度处理构筑物,通过投加碳源,达到去除TN的效果。设计流量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , $K_z=1.2$ 。本单体分为2个系列,每个系列含有混合池2格、反硝化滤池3格。滤池配套管廊间、清水池(内设反冲洗水泵)、废水池(内设废水排放泵)、风机房(内设鼓风机和空压机)及控制室。反硝化滤池共6格,单格有效过滤面积 $84 \text{ m}^2$ ,滤料 $\phi 2\sim 3 \text{ mm}$ ,高 $2.43 \text{ m}$ ;承托层填料 $\phi 3\sim 38 \text{ mm}$ ,高 $0.45 \text{ m}$ ;表面水力负荷 $4.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;滤池平均流量下,正常滤速 $4.1 \text{ m/h}$ ,强制滤速 $4.9 \text{ m/h}$ ;峰值流量下,正常滤速 $5.0 \text{ m/h}$ ,强制滤速 $5.9 \text{ m/h}$ 。反硝化滤池采用固体乙酸钠作为碳源,投加量为 $100.77 \text{ mg/L}$ (以100%纯度计)。

#### ⑤ 新建臭氧催化氧化池

由于进水中含有难降解有机污染物,因此需要对此部分污染物进行去除,使出水COD能够达标。臭氧分解产生羟基自由基,羟基自由基是强氧化剂,能够氧化分解水中难生化降解的酚、酮、酸等有机物<sup>[3]</sup>。为了提高臭氧利用效率,降低臭氧投加量,通常在臭氧接触池中设置固体催化剂填料层<sup>[4]</sup>。

臭氧催化氧化池主要去除水中难生化降解污染物,达到降低出水COD的效果。臭氧催化高级氧化池设计流量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , $K_z=1.2$ 。共1座,分为2个系列,每个系列可以单独运行。一级臭氧催化氧化分为3段,每个系列可以单独运行。经小试及中试后,确定催化氧化反应时间为 $1 \text{ h}$ ,臭氧投加量 $24$

$\text{mg/L}$ ,最大投加能力 $30 \text{ mg/L}$ 。臭氧浓度 $148 \text{ mg/L}$ ,臭氧制备量 $75 \text{ kg/h}$ 。

催化剂共 $148 \text{ m}^3$ 。

#### ⑥ 新建V型滤池

废水经臭氧催化氧化处理后,SS会出现不同程度的升高。为了保证最终出水SS能够稳定达标,采用V型滤池作为SS处理单元。V型滤池是一种高效、稳定的过滤技术,滤床采用自下而上的气水反冲洗方式<sup>[5]</sup>。V型滤池设计流量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , $K_z=1.2$ 。共4座滤池,每座滤池2格,共计8格,单格滤池过滤面积 $39 \text{ m}^2$ 。均日均时设计滤速 $6.67 \text{ m/h}$ ,强制滤速 $8.90 \text{ m/h}$ ,滤池过滤工作周期为 $24 \text{ h}$ 。气水联合反冲洗:气反冲洗强度为 $15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,气水联合反冲洗强度为 $15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,水冲洗强度为 $2.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;单独水反冲洗强度为 $5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;全程均采用表洗,表洗水冲洗强度为 $2.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。采用石英砂均质滤料,滤料层厚 $1.2 \text{ m}$ ,标准有效粒径为 $1.0 \text{ mm}$ , $K_{80}=1.4$ ;承托层厚 $100 \text{ mm}$ ,采用直径 $4\sim 8 \text{ mm}$ 的粗砂。

#### ⑦ 新建接触消毒池和巴氏计量槽

接触消毒池设计流量 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , $K_z=1.37$ ,水力停留时间 $37 \text{ min}$ 。

## 3 实际运行效果及投资

### 3.1 调试运行

在调试运行阶段,为了快速启动生化池,要合理控制生化池曝气量,开始应调节至最大曝气量曝气 $2\sim 3 \text{ d}$ ,然后恢复至合理曝气量,这样有利于微生物快速增长。另外,进入新系统的污水量要逐渐增加,避免新系统负荷过重。加药量的确定是污水厂调试阶段的重要组成部分,过多过少均会产生不利影响,因此调试时,应根据各处理单元的设计污染物去除负荷以及各单元实测进出水水质,不断调整加药量。

### 3.2 运行效果

该污水处理厂自2020年11月开始工艺调试运行,2020年11月—2021年3月实际进、出水水质如表1所示。虽然新建生化池活性污泥取自现状生化池,但是设备及系统均处于调试阶段,因此2020年11月、12月的COD、TN、TP出现超标现象,其他时段各项出水指标均优于设计出水水质。运行结果表明,提标扩建工程能有效处理高浓度工业废水,保证出水达标排放。

表1 扩建改造后实际进、出水水质

Fig.1 Actual influent and effluent quality after expansion and reconstruction

mg·L<sup>-1</sup>

项 目	COD		BOD <sub>5</sub>		TN		NH <sub>3</sub> -N		TP		SS	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2020年11月	762.78	57.24	155.97	9.93	72.66	16.81	45.34	4.58	14.97	1.58	304.10	8.69
2020年12月	574.22	39.02	129.29	8.05	69.30	11.62	43.64	1.00	10.92	0.95	230.85	7.41
2021年1月	551.43	44.32	119.45	7.32	63.48	12.19	37.25	4.18	10.38	0.33	221.51	8.10
2021年2月	649.71	48.52	133.51	9.91	73.73	14.44	43.99	4.83	11.06	0.36	229.24	7.88
2021年3月	665.19	39.40	160.40	9.81	72.48	11.77	43.80	3.97	13.04	0.18	345.03	6.62

### 3.3 工程投资

该工程总投资为29 102.57万元。正常生产年份单位成本为4.47元/m<sup>3</sup>。

### 4 结论

① 根据工业园区废水水质特征及进出水浓度要求,经中试,提标扩建工程采用MBBR+磁混凝沉淀池+反硝化滤池+臭氧催化氧化池+V型滤池工艺,出水能够稳定达到一级A标准,对同类型工业区高浓度废水处理厂建设具有借鉴意义。

② 目前,经过近几个月的调试运行,污水处理厂出水水质持续变好,出水能够达标,但出水稳定性需进一步提高,后续需进一步调试优化。

### 参考文献:

- [1] 白华清,郑爽,李瑞,等. 基于A<sup>2</sup>O的MBBR工艺污水处理厂设计及运行效果[J]. 中国给水排水, 2019, 35(24): 56-61.  
BAI Huaqing, ZHENG Shuang, LI Rui, *et al.* Design and performance of a MBBR wastewater treatment plant based on A<sup>2</sup>O process[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(24):56-61(in Chinese).
- [2] 熊建英. MBBR+磁混凝工艺用于污水处理厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2018, 34(20):50-55.  
XIONG Jianying. Application of MBBR + magnetic coagulation process for upgrading of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(20):50-55(in Chinese).

- [3] 王舜和,郭淑琴,李朦. 降低负荷+臭氧催化氧化用于张贵庄污水处理厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2017, 33(6):56-58.

WANG Shunhe, GUO Shuqin, LI Meng. Renovation upgrading project of Zhangguizhuang wastewater treatment plant via reduction pollutants load + ozone catalytic oxidation process [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(6):56-58(in Chinese).

- [4] 刘增军,李永勤. MBR+臭氧催化氧化工艺处理光伏电池废水工程实例[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6): 88-90,96.

LIU Zengjun, LI Yongqin. Project case of MBR and ozone catalytic oxidation process for treating photovoltaic cell wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6):88-90,96(in Chinese).

- [5] 徐晓丽,何莲,郑全兴. 某水厂V型滤池初滤水排放控制技术的研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(7): 40-44.

XU Xiaoli, HE Lian, ZHENG Quanxing. Study on controlled discharge of initial filtrated water of V-type filter in a waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(7):40-44(in Chinese).

作者简介:张永森(1992- ),男,安徽六安人,硕士,工程师,从事给水排水工程设计工作。

E-mail: hit549@163.com

收稿日期:2021-03-15

修回日期:2021-03-25

(编辑:衣春敏)