

# 水解/多段多级 AO/曝气生物滤池处理开发区污水

岳志芳<sup>1</sup>, 杨海燕<sup>1</sup>, 闫永利<sup>1</sup>, 王彦隽<sup>1</sup>, 贾辛慧<sup>1</sup>, 余永斌<sup>2</sup>

(1. 内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 包头 014109; 2. 鄂尔多斯国中水务有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 014300)

**摘要:** 某开发区污水处理厂主要接收园区的化工废水和少量生活污水, 针对污水成分复杂、难降解有机物多、可生化性差的特点, 采用水解酸化/多段多级 AO/臭氧氧化/曝气生物滤池/高效混凝沉淀/纤维转盘过滤的组合处理工艺。运行实践表明, 该工艺运行稳定, 处理效果良好, 出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准, 运行成本为 1.89 元/m<sup>3</sup>。

**关键词:** 化工废水; 水解酸化; 多段多级 AO; 曝气生物滤池; 纤维转盘过滤

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0107-05

## Treatment of Wastewater from a Development Zone by Hydrolysis Acidification/Multi-stage and Multi-level AO/Biological Aerated Filter Process

YUE Zhi-fang<sup>1</sup>, YANG Hai-yan<sup>1</sup>, YAN Yong-li<sup>1</sup>, WANG Yan-jun<sup>1</sup>, JIA Xin-hui<sup>1</sup>, SHE Yong-bin<sup>2</sup>

(1. Vocational and Technical College of Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China; 2. Erdos National Water Affairs Co. Ltd., Erdos 014300, China)

**Abstract:** The wastewater treatment plant in a development zone mainly received chemical wastewater and a small amount of domestic wastewater. Due to the complex composition of wastewater with many refractory organic matter and poor biodegradability, the combined process of hydrolysis acidification/multi-stage and multi-level AO/ozonation/biological aerated filter/coagulation reaction/high efficiency precipitation/fiber rotary filter was used. The actual operation results showed that the effluent quality of the sewage treatment plant was stable and met the first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). Its unit operating cost was 1.89 yuan/m<sup>3</sup>.

**Key words:** chemical wastewater; hydrolysis acidification; multi-stage and multi-level AO process; biological aerated filter; fiber rotary filter

山东省某经济开发区主要有新型装备制造产业、新型生物产业和高端橡胶加工产业, 配套建设了污水处理厂。一期工程设计处理规模为  $4 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d, 主要接纳开发区内的工业废水和少量生活污

水, 并将视实际发展情况进行二期工程扩建。

### 1 设计进、出水水质

由于开发区内各企业排放的工业废水水质复杂、水量变化幅度大, 因此, 各企业所产生的废水经

基金项目: 内蒙古农业大学职业技术学院新农村发展建设科技创新团队项目(2017CX7D05)

预处理满足《污水排入城镇下水道水质标准》(CJ 343—2010)后,集中由排水管网排入污水处理厂,再经预处理、生物处理及深度处理后,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准后排放。

污水处理厂进水中工业废水约占 86%,生活污水约占 14%,综合进水水质为二者进水水质的加权平均值,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。具体设计进水水质及排放标准见表 1。

表 1 设计进水水质及排放标准

Tab. 1 Design influent quality and discharge standard

项 目	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	NH <sub>3</sub> - N/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH 值
进水水质	≤500	≤100	≤400	≤35	≤45	≤3	6~9
排放标准	≤50	≤10	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5	6~9

注: 括号外数值为水温 > 12 ℃ 的控制指标,括号内数值为水温 ≤ 12 ℃ 的控制指标。

## 2 工艺流程

污水处理厂进水中工业废水占比高,以化工废水为主,其水质成分复杂且波动大、难降解有机物多、可生化性差,同时可能含有一定量的有毒有害物质。针对此类废水的水质特点并结合出水设计要求,提出采用物化预处理、二级生物处理和三级深度处理的组合工艺<sup>[1-3]</sup>。预处理采用细格栅+旋流沉

砂池+水解酸化工艺,初步降低废水 COD 浓度,提高废水可生化性。二级生物处理采用多段多级 AO 工艺,主要完成有机物的去除和生物脱氮除磷。三级深度处理采用臭氧接触池+曝气生物滤池+高效沉淀池+纤维转盘过滤工艺,进一步去除废水中残余的难降解有机物、悬浮固体物质,同时降低出水总磷浓度等。工艺流程如图 1 所示。

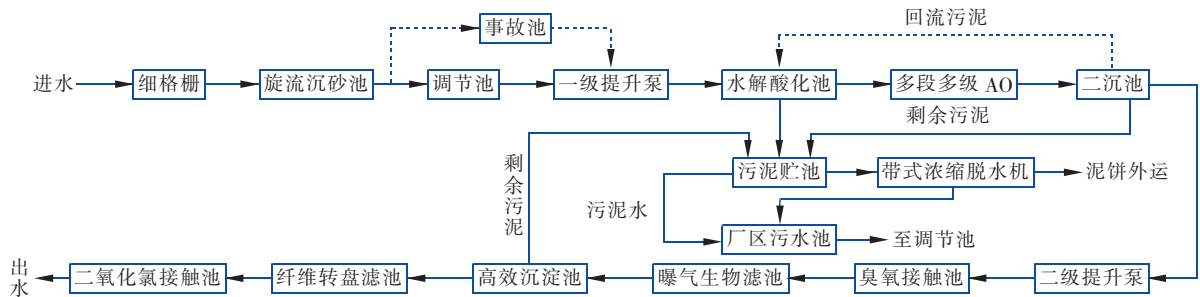


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

### 2.1 预处理

污水首先进入细格栅去除大颗粒物质,以保证后续水泵和构筑物的正常运行。细格栅出水经旋流沉砂池去除颗粒直径 > 0.2 mm 的砂粒,保护后续处理设备,防止管道堵塞。

为降低进水水质水量波动及有毒有害物质对后续处理系统的冲击,旋流沉砂池出水进入调节池以均衡水质水量,同时调节池底部设穿孔管空气搅拌系统以避免废水中悬浮颗粒沉积。调节池出水经一级提升泵进入水解酸化池,与兼氧、厌氧微生物充分接触,通过水解酸化作用将部分难降解有机物转化为易降解有机物<sup>[4-5]</sup>,提高后续多段多级 AO 系统对有机物的去除效果。

### 2.2 二级生物处理

水解酸化池出水分段分量进入各级缺氧区进行反硝化后,再进入后续好氧区。各级好氧区进行有机物的氧化反应、氨氮的硝化反应及聚磷菌的生物吸磷反应,反应出水与部分进水共同进入下一级缺氧区,反硝化菌利用碳源进行反硝化反应,聚磷菌利用碳源进行释磷<sup>[6-7]</sup>,如此反复三级。考虑进水 COD 波动较大, BOD<sub>5</sub>/COD 值及 BOD<sub>5</sub>/TN 值较小,在多段多级 AO 反应池中投加工业醋酸钠作为有机碳源,以提高反硝化能力,保证氨氮的去除效果。多段多级 AO 反应池出水进入二沉池进行泥水分离,沉淀污泥一部分回流至多段多级 AO 反应池的第一级缺氧区,剩余污泥则被抽送至污泥处理系统。

## 2.3 三级深度处理

二级提升泵将二沉池出水提升至臭氧接触池,臭氧将二级生物处理中残余的有机物一部分彻底氧化,另一部分氧化为易于生化降解的小分子有机物。臭氧接触池出水进入曝气生物滤池,通过其生物膜的吸附及降解作用降解、去除残余有机物<sup>[8-9]</sup>。曝气生物滤池出水进入高效沉淀池,池中投加混凝剂(聚合氯化铝)和高分子絮凝剂(PAM),经混凝、絮凝逐渐形成较大絮体后进入斜管沉淀区进行泥水分离,以进一步去除残余的胶体有机物、悬浮固体物质及磷等。为确保出水悬浮物浓度和总磷浓度满足排放要求,高效沉淀池出水进入纤维转盘滤池,依靠微孔纤维滤布的过滤作用进一步去除悬浮固体物质以及残余磷。纤维转盘滤池出水进入二氧化氯接触池消毒后排放至厂外的排水泵站。

## 3 主要构筑物及设计参数

### 3.1 细格栅

细格栅渠设计水量为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,共设2台机械回转式自动细格栅,平均流量时1用1备,高峰流量时2台同时运行。栅条间隙为3 mm,格栅宽为1.2 m,栅前水深为1.0 m,安装倾角为 $75^\circ$ 。

### 3.2 旋流沉砂池

2座,直径为3.65 m,水深为3.4 m。每座沉砂池设1台搅拌器,搅拌功率为1.5 kW。砂水分离器处理能力为 $12 \sim 20 \text{ L/s}$ , $N=0.37 \text{ kW}$ 。排砂鼓风机采用罗茨鼓风机,2台(1用1备), $Q=1.43 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P=49 \text{ kPa}$ , $N=3 \text{ kW}$ 。

### 3.3 水解酸化池

4座(分2格),单格尺寸为 $12 \text{ m} \times 32 \text{ m} \times 7.5 \text{ m}$ ,设计水力停留时间为13 h。采用上流式污泥床,池底设穿孔管配水系统,穿孔管材质为UPVC。每格水解酸化池设4组进水配水管,各配水支管间距2 m,布水管每隔1.2 m设斜向下 $45^\circ$ 的布水孔,孔口设计流速为 $3 \text{ m/s}$ 。水解酸化池采用穿孔管排泥,定期由泵输送至污泥贮池。

### 3.4 多段多级A/O反应池

三级A/O反应池1座,分2组并联运行,每组设三级串联的缺氧区和好氧区,每级由一个缺氧区和一个好氧区组成。每级进入缺氧区的进水量分配比依次为40%、32%、28%,通过进水配水调节堰实现。三级A/O反应池总容积为 $30\,240 \text{ m}^3$ ,缺氧区总容积为 $11\,880 \text{ m}^3$ ,好氧区总容积为 $18\,360 \text{ m}^3$ 。

设计流量为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计总泥龄为18 d,设计好氧泥龄为11 d,设计污泥负荷为 $0.055 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,设计水力停留时间为18 h。缺氧区共设12台潜水推流器,单机功率为5 kW,好氧区底部设圆盘式橡胶膜微孔曝气器3 936套,膜片材质为EPDM橡胶。

### 3.5 二沉池

辐流式二沉池2座,单座尺寸( $D \times H$ )= $\varnothing 38 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ , $Q=1\,670 \text{ m}^3/\text{h}$ 。设计表面负荷为 $0.73 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设计水力停留时间为5 h。配套刮泥机各1台,直径为38 m,功率为0.55 kW。

### 3.6 臭氧接触池

1座(分2格),总有效容积为 $2\,500 \text{ m}^3$ ,设计水力停留时间为1.5 h。臭氧接触池采用微气泡扩散接触方式,每格接触池设130个微孔曝气盘,每个曝气盘的通气量为 $5 \sim 8 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。每格接触池设1台尾气破坏器以收集池内未溶解的剩余臭氧气体,单台尾气处理能力为 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,装机功率为20 kW。

### 3.7 曝气生物滤池

1座(分8格),设计滤速为 $5.8 \text{ m/h}$ 。每格过滤面积为 $36 \text{ m}^2$ ,采用厚度为3 m的火山岩滤料,总体积为 $864 \text{ m}^3$ 。采用单孔膜微孔曝气系统,曝气单孔膜 $46 \text{ 个}/\text{m}^2$ ,曝气强度为 $14 \text{ Nm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。共设8台罗茨鼓风机, $Q=8.43 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P=68.6 \text{ kPa}$ , $N=22 \text{ kW}$ 。采用气水反冲洗,气反洗强度为 $12 \sim 16 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,水反洗强度为 $6 \sim 7 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,共设3台立式离心反冲洗泵(2用1备), $Q=450 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=120 \text{ kPa}$ , $N=22 \text{ kW}$ ;共设3台反冲洗罗茨风机(2用1备), $Q=20 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P=68.6 \text{ kPa}$ , $N=45 \text{ kW}$ 。

### 3.8 高效沉淀池

1座(分2格),采用斜管沉淀,包括混凝区、絮凝反应区和斜管沉淀区,总有效容积为 $2\,286 \text{ m}^3$ 。其中混凝时间约2 min,絮凝反应时间约13 min,斜管沉淀区的表面水力负荷为 $4.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。混凝区搅拌器2台, $N=4 \text{ kW}$ ;絮凝反应区搅拌器2台, $N=3.7 \text{ kW}$ 。沉淀区斜管长为1 m,内切直径为60 mm,倾角为 $60^\circ$ 。每格斜管沉淀区设桁车式吸泥机1台。

### 3.9 纤维转盘滤池

1座(分2格),设计流量为 $1\,700 \text{ m}^3/\text{h}$ ,设计滤速为 $8.3 \text{ m/h}$ 。每格滤池设1台纤维转盘过滤器,

每台8片滤盘,单盘有效面积为 $12.6\text{ m}^2$ ,滤盘直径为3 m,过滤孔径为 $10\text{ }\mu\text{m}$ ,转盘驱动电机功率为 $0.75\text{ kW}$ 。设2台反冲洗水泵, $Q=60\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=70\text{ kPa}$ , $N=4\text{ kW}$ 。

#### 4 运行效果

该污水处理厂投产运行后,各工艺处理单元运转正常,出水水质稳定。某月各主要处理单元平均出水水质见表2。

表2 各主要处理单元平均出水水质

Tab.2 Average effluent quality of main treatment units

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

项目	水解酸化池	多级多段 A/O	臭氧接触池	曝气生物滤池	高效沉淀池	纤维转盘滤池
COD	400	120	80	57	52	43
BOD <sub>5</sub>	150	67	38	17	12	9
SS	97	20	18	16	13	8
NH <sub>3</sub> -N	36	8	8	5	4	2
TN	42	23	20	13	13	13
TP	3.0	2.0	2.0	2.0	0.8	0.5

#### 5 设计特点

① 该污水处理厂所选工艺成熟,对水质变化适应能力强,运行稳定,出水水质达到排放标准,同时自动化程度较高,布置紧凑,占地面积小,为后续的二期建设提供了方便。

② 水解酸化池在很大程度上提高了后续多段多级 AO 单元对有机物的去除效果。深度处理采用纤维转盘滤池,有效提高了总磷去除率。

③ 多段多级 A/O 工艺无需设置混合液内回流系统,避免了传统 A/O 系统内回流将大量好氧区溶解氧带入反硝化区的问题;其平均混合液污泥浓度要比传统 A/O 工艺高,因此,相同设计污泥负荷条件下,池容大幅减小,相应的投资运行费用降低,运行管理也较方便。

#### 6 运行费用

运行成本主要包含电费、药剂费、人工费等。电耗为 $1.0\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ,电价按 $0.76\text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计,电费合计为 $1\,109.6\text{ 万元}/\text{a}$ ;药剂主要有 PAM、PAC、醋酸钠、二氧化氯、氯酸钠、盐酸,药剂费合计为 $693.7\text{ 万元}/\text{a}$ ;生产操作及维护人员40人,按 $4\text{ 万元}/(\text{人} \cdot \text{a})$ 计,人工费合计为 $160\text{ 万元}/\text{a}$ ;污泥外运处置费 $56.2\text{ 万元}/\text{a}$ ;大修及日常检修维护费 $441\text{ 万元}/\text{a}$ ;管理费及其他费用 $301\text{ 万元}/\text{a}$ 。污水处理厂运行费用合计为 $2\,761.5\text{ 万元}/\text{a}$ ,按污水处

理量为 $4 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 计,单位运行成本为 $1.89\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

#### 7 结论

采用水解酸化/多段多级 AO 臭氧氧化/曝气生物滤池/高效沉淀池/纤维转盘过滤工艺处理开发区污水,工艺成熟,运行稳定,出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。该污水处理厂的稳定运行改善了周边水体水质,具有较好的环境效益与经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 裴刚. 江山市某开发区污水处理厂的设计与运行[J]. 中国给水排水,2012,28(22):80-82.  
Pei Gang. Design and operation of WWTP in an economic development area in Jiangshan City[J]. China Water & Wastewater,2012,28(22):80-82(in Chinese).
- [2] 李稳,陈一奇,张凤娥,等. 淮安市某开发区污水处理厂一期工程设计与运行[J]. 中国给水排水,2010,26(22):48-50.  
Li Wen, Chen Yiqi, Zhang Feng'e, et al. Design and operation of first-phase project of wastewater treatment plant in a development zone in Huai'an City[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(22):48-50(in Chinese).
- [3] 唐震,孙振. 昌吉市高新技术产业开发区污水处理厂工艺设计及运行[J]. 中国给水排水,2016,32(18):53-55,59.  
Tang Zhen, Sun Zhen. Process design and operation of wastewater treatment plant in Changji High-tech Industry Development Zone[J]. China Water & Wastewater, 2016,32(18):53-55,59(in Chinese).
- [4] 王艳,刘凯男,谢长血,等. 水解酸化/AO/臭氧氧化/SAF™工艺处理煤化工园区废水[J]. 中国给水排水,2018,34(6):57-59.  
Wang Yan, Liu Kainan, Xie Changxue, et al. Hydrolysis acidification/AO/ozone oxidation/SAF™ process for wastewater treatment in coal chemical industrial park[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6):57-59(in Chinese).
- [5] 陈思莉,江栋,李开明,等. 水解酸化/接触氧化/曝气生物滤池处理工业园废水工程实例[J]. 工业水处理,2012,32(2):85-87.  
Chen Sili, Jiang Dong, Li Kaiming, et al. Case study on the treatment of wastewater in an industrial park by hydrolytic acidification-contacting oxidation-biological



- aerated filter process [J]. Industrial Water Treatment, 2012, 32(2): 85–87 (in Chinese).
- [6] 王敏, 张智, 陈杰云, 等. 不同流量分配比对多级A/O工艺去除有机物及脱氮的影响[J]. 环境工程学报, 2013, 7(4): 1430–1434.
- Wang Min, Zhang Zhi, Chen Jieyun, *et al.* Influence of different influent flow distribution ratios on biological nitrogen and carbon removal by multi-stages A/O process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(4): 1430–1434 (in Chinese).
- [7] 刘胜军, 杨学, 石凤, 等. 多段多级AO除磷脱氮工艺分析与研究[J]. 给水排水, 2012, 38(增刊): 191–194.
- Liu Shengjun, Yang Xue, Shi Feng, *et al.* Analysis and research of anaerobic-oxic multilevel anoxic-oxic phosphorous and nitrogen removal technology [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S): 191–194 (in Chinese).
- [8] 王靖雯, 徐洪斌, 马浩亮, 等. 曝气生物滤池脱氮技术的研究进展[J]. 工业水处理, 2014, 34(6): 1–5.
- Wang Jingwen, Xu Hongbin, Ma Haoliang, *et al.* Research progress in the denitrification technique in biological aerated filter [J]. Industrial Water Treatment,

2014, 34(6): 1–5 (in Chinese).

- [9] 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).



作者简介: 岳志芳(1989–), 女, 内蒙古乌兰察布人, 硕士, 讲师, 从事污水处理、泵站运行方面的研究工作。

E-mail: yuezhibang1989@163.com

收稿日期: 2018–12–11

(上接第106页)

- (5): 47–51.
- Li Ping, Zhong Min, Wu Pengju, *et al.* Eutrophication status and mechanism of landscape water body in Yanling wetland in Dongguan [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(5): 47–51 (in Chinese).
- [6] 罗万申. 新型污水处理工艺—MSBR[J]. 中国给水排水, 1999, 15(6): 22–24.
- Luo Wanshen. Novel wastewater treatment process—MSBR [J]. China Water & Wastewater, 1999, 15(6): 22–24 (in Chinese).
- [7] 王文明, 危建新. 长沙市坪塘污水处理厂的生态发展战略[J]. 城市环境与城市生态, 2013, 26(4): 34–38.
- Wang Wenming, Wei Jianxin. Ecological development strategy of Pingtang wastewater treatment plant in Changsha [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2013, 26(4): 34–38 (in Chinese).
- [8] 危建新. 洋湖生态新城水环境生态再生工艺及净水效果[J]. 中国给水排水, 2014, 30(21): 10–13.
- Wei Jianxin. Water environment ecological regeneration process and its purification efficiency in Yanghu

ecological new town in Changsha [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(21): 10–13 (in Chinese).



作者简介: 王文明(1982–), 男, 四川平昌人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水污染防治与生态修复技术研究工作。

E-mail: w. m. wang@126.com

收稿日期: 2019–01–21