

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.20.020

# 混凝 + A/O + 气浮 + 臭氧 + 磁混凝工艺处理印染废水

丁 静<sup>1</sup>, 张建良<sup>2</sup>, 任 烨<sup>1</sup>, 韩 耀<sup>1</sup>

(1. 绍兴柯桥兴滨水质检测有限公司, 浙江 绍兴 312073; 2. 中国市政工程东北设计研究总院有限公司, 吉林 长春 130021)

**摘 要:** 为有力助推印染产业搬迁和集聚, 绍兴某污水处理厂采用混凝 + A/O + 气浮 + 臭氧 + 磁混凝工艺处理集聚区内综合印染废水, 处理水量为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。运行结果表明, 该工艺处理效率高, 抗冲击负荷能力强, 对 COD、总氮、SS 和色度的去除率分别达到 95.9%、81.7%、98.7%、99.5%, 最终出水 COD、总氮、SS、色度分别为 68 mg/L、7.5 mg/L、5 mg/L、6 倍, 达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012) 的直接排放标准, 处理成本为 3.07 元/ $\text{m}^3$ 。该工程将臭氧氧化大规模应用于印染废水处理, 效果稳定, 可为工业园区综合印染废水处理提供参考。

**关键词:** 印染废水; 混凝; 臭氧; 磁混凝; A/O 工艺

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)20-0112-04

## Treatment of Dyeing Wastewater by a Combined Process of Coagulation, A/O, Flotation, Ozone, and Magnetic Coagulation

DING Jing<sup>1</sup>, ZHANG Jian-liang<sup>2</sup>, REN Ye<sup>1</sup>, HAN Yao<sup>1</sup>

(1. Shaoxing Keqiao Xingbin Water Quality Testing Co. Ltd., Shaoxing 312073, China; 2. China Northeast Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Changchun 130021, China)

**Abstract:** In order to effectively promote the relocation and agglomeration of printing and dyeing industry, a sewage treatment plant in Shaoxing adopted the combined process of coagulation, A/O, air flotation, ozone, and magnetic coagulation to treat the dyeing wastewater. The treatment capacity is  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . It showed that the combined process has high treatment efficiency and strong shock loading resistibility. The final concentrations of effluent COD, total nitrogen, SS and chromaticity were 68 mg/L, 7.5 mg/L, 5 mg/L and 6 times, with removal rates of 95.9%, 81.7%, 98.7% and 99.5% respectively. The effluent could meet the direct discharge standard of *Discharge Standards of Water Pollutants for Dyeing and Finishing of Textile Industry* (GB 4287 - 2012). The treatment cost of the project was 3.07 yuan/ $\text{m}^3$ . This project applied ozone to treat printing and dyeing wastewater on a large scale with stable effect, which can provide reference for dyeing wastewater treatment in the industrial park.

**Key words:** dyeing wastewater; coagulation; ozone; magnetic coagulation; A/O process

印染废水具有水量大、有机污染物含量高、可生化性差、水质变化大等特点, 是难处理的工业废水之一<sup>[1]</sup>。目前印染废水处理技术总体上分为化学絮凝沉淀法、生物处理法、高级氧化法<sup>[2-4]</sup>以及膜处理<sup>[5]</sup>。为了积极响应政府号召, 有力助推绍兴绿色

印染产业的集聚与升级, 绍兴某污水处理厂采用混凝 + A/O + 气浮 + 臭氧 + 磁混凝工艺处理印染废水, 处理规模为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 2019 年 3 月底建成并投运, 出水水质执行《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012) 的直接排放标准。

## 1 废水水质、水量

因集聚区内印染企业近 60 家,棉、麻、化学纤维、混纺等各类生产废水水质变化较大。废水水质及排放标准见表 1。废水处理量为  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

表 1 废水水质及排放标准

Tab. 1 Wastewater quality and discharge standards

项 目	进水	出水
COD/(mg · L <sup>-1</sup> )	2 000	80
氨氮/(mg · L <sup>-1</sup> )	40	10
总氮/(mg · L <sup>-1</sup> )	60	15
SS/(mg · L <sup>-1</sup> )	400	50
pH 值	6 ~ 9	6 ~ 9

## 2 工艺流程及主要构筑物

## 2.1 工艺流程

经过对周边印染企业废水和大型印染废水处理厂的调研,确定印染废水主要是 COD 和总氮的去除难度最大。通过 3 年多的中试,最终确定采用混凝—氧化沟(A/O 池)—气浮—臭氧—磁混凝工艺进行处理。工艺流程见图 1。

印染废水经过管网收集后汇入稳流池,再经格

栅去除纤维状物质和大颗粒悬浮物后自流进入调节池进行水量和水质调节。调节池出水由泵提升至混凝反应池,经加药混合絮凝进入初沉池进行泥水分离。初沉池出水自流至氧化沟(A/O池)进行有机物的去除。生化处理出水自流入二沉池进行固液分离后流入二次提升泵房。泵房出水被提升至气浮池,通过投加聚铁、高效絮凝剂以及PAM进行泥水分离。气浮池出水自流进入纤维转盘滤池,进一步去除悬浮物后自流入臭氧接触池进行臭氧氧化反应。臭氧接触池出水自流进入磁混凝池,通过投加炭粉、PAC和PAM确保出水水质达标。最后的出水通过排海泵房排放。

组合处理工艺产生的污泥进入均质池充分混合后输送到污泥浓缩池进行泥水分离,上清液进入回流泵房,污泥均由排泥泵排放至储泥池。储泥池污泥(含水率为 97%)主要通过专有管道直接泵送至配套建设的污泥焚烧厂,剩余部分污泥通过离心机脱水后将含水率降至 80%,用柱塞泵输送至配套的污泥焚烧厂处理。

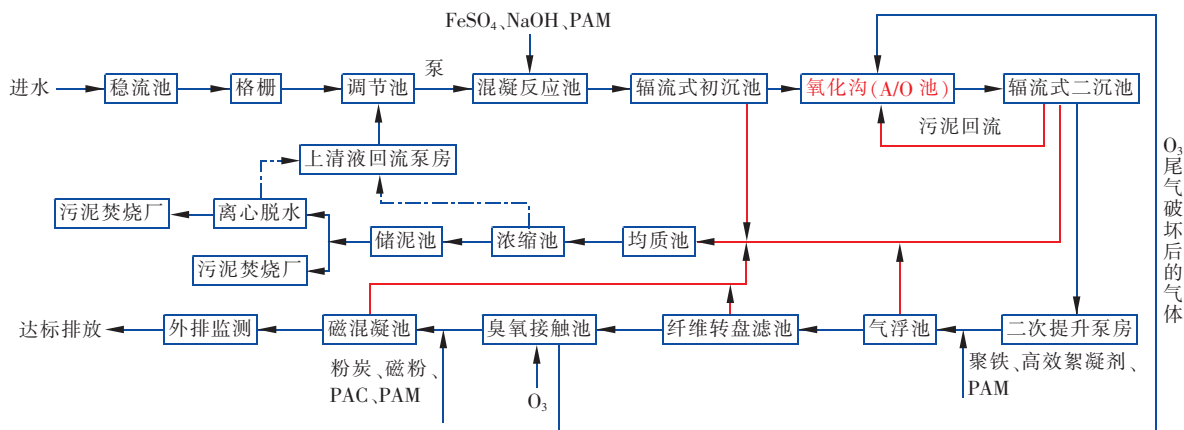


图1 印染废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of dyeing wastewater treatment process

## 2.2 主要构筑物及设备

### ① 调节池

1座,半地上式钢混结构,有效容积为95 850 m<sup>3</sup>,HRT为11.5 h,采用回转廊道式池型。池内设推流搅拌器,配套轴流提升泵3台(2用1备),变频,单泵 $Q=5\,210\text{ m}^3/\text{h}$ , $N=220\text{ kW}$ ;潜水推流器26台, $\varnothing 2\,500\text{ mm}$ , $N=6.8\text{ kW}$ 。

## ② 混凝反应池

1座2组,半地上式钢混结构。单格混合区停

留时间为 90.3 s,有效容积为 157.5 m<sup>3</sup>,配套单层混合搅拌机 4 台,Ø1 200 mm, $N=5.5$  kW。

经混合的废水流入絮凝反应区。絮凝反应区总有效容积 2 662 m<sup>3</sup>, 分 4 组 16 格。设有框式反应器, 废水在絮凝反应区循环反应, 充分接触碰撞。HRT 为 19.17 min。配套设备, 絮凝区配置 Ø4 800 mm 絮凝搅拌机 16 套, 分 4 级, 速度梯度分别为 86、74、61、52 s<sup>-1</sup>。亚铁投加量为 300 mg/L, 32% 液碱投加量为 300 mg/L, PAM 投加量为 4 mg/L。

## ③ 辐流式初沉池

4座,单池直径为50 m,表面负荷为 $1.33 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,周边水深4.5 m,HRT为3.0 h。配套设备:刮泥机4台, $N=1.5 \text{ kW}$ ;4台排泥泵,单台 $Q=320 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N=18.5 \text{ kW}$ 。

## ④ 氧化沟(A/O池)

采用循环廊道式,共设2组,每组2座。单座平面尺寸为 $200 \text{ m} \times 53.0 \text{ m}$ ,池深11.5 m,有效水深10.0 m,分4廊道,单廊道宽13.0 m。生化处理总HRT为47 h,其中缺氧区HRT为5 h,DO控制在 $0.5 \text{ mg/L}$ 以下;好氧区HRT为42 h,DO控制在 $2 \sim 3 \text{ mg/L}$ ,污泥浓度为 $3\ 600 \sim 4\ 500 \text{ mg/L}$ ,污泥龄控制在 $30 \sim 35 \text{ d}$ 。单池配套球形盘式微孔曝气器15 600个,充氧效率35%。缺氧区设置4台混合搅拌机, $N=13.2 \text{ W}$ ,单池好氧区设置潜水推流器14台, $\varnothing 2.5 \text{ m}$ , $N=6.8 \text{ kW}$ 。池内流速不低于 $0.5 \text{ m/s}$ 。

## ⑤ 辐流式二沉池

8座,每4座中间设1座配水井,均为辐流式沉淀池,半地上式钢混结构,用于泥水分离和污泥浓缩,单座沉淀池直径为55 m,表面负荷为 $0.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,周边水深4.5 m,HRT为8.0 h。配套设备:8套全桥双周边驱动吸泥机,回流污泥经过污泥泵提升至生化曝气池缺氧段。

## ⑥ 气浮池

气浮池12座,10用2备,2座为1组,均为地上钢混结构,HRT为15 min,单套处理能力为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。配套设备:螺杆式空压机4台(2用2备),单台 $Q=3.0 \text{ m}^3/\text{min}$ , $P=0.85 \text{ MPa}$ , $N=22 \text{ kW}$ ;溶气回流泵15台,单台 $Q=300 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=500 \text{ kPa}$ , $N=75 \text{ kW}$ 。设计聚铁投加量为 $1\ 300 \text{ mg/L}$ ,高效絮凝剂为 $100 \text{ mg/L}$ ,PAM为 $4 \text{ mg/L}$ 。

## ⑦ 纤维转盘滤池

1座,分5格,每格内设纤维转盘5套。滤池总

过滤面积为 $1\ 260 \text{ m}^2$ ,单盘直径为3 m,过滤盘片水头损失小于 $3 \text{ kPa}$ ,滤速 $\leq 15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,过滤网孔径 $\leq 10 \mu\text{m}$ ,单台电机功率 $0.75 \text{ kW}$ 。单格滤池的尺寸 $8.8 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 4.7 \text{ m}$ ,考虑进、出水渠道后,滤池及反冲洗泵房的总尺寸为 $45.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$ 。

## ⑧ 臭氧接触池

利用臭氧的强氧化性进一步降解苯胺等物质,并去除色度。1座,半地上式钢混结构,臭氧接触池尺寸 $(L \times B \times H)=45.0 \text{ m} \times 40.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$ ,超高 $0.5 \text{ m}$ ,分为3格。臭氧曝气采用3级,臭氧最大设计投加量为 $50 \text{ mg/L}$ ,每级曝气的臭氧比例按照 $2:1:1$ 设计,采用钛合金曝气盘曝气,DN150,1 152个。配套设备:臭氧系统管路、呼吸阀、尾气分解器及臭氧扩散装置,其中尾气破坏器 $Q=0 \sim 800 \text{ m}^3/\text{h}$ , $N=20 \text{ kW}$ ,4用1备,风机 $Q=19.5 \text{ m}^3/\text{min}$ , $H=60 \text{ kPa}$ , $N=30 \text{ kW}$ 。

## ⑨ 磁混凝池

主要作用是进一步降低COD以及SS。1座,分4组,半地上式钢混结构,总反应时间为 $36.4 \text{ min}$ ,沉淀区平均水力负荷为 $13.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。配套设备:高剪机4台, $N=0.75 \text{ kW}$ ,磁分离机4台, $N=4.0 \text{ kW}$ ;回流污泥泵共8台,4用4备, $Q=120 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100 \text{ kPa}$ , $N=5.5 \text{ kW}$ ;剩余污泥泵共6台,4用2备, $Q=70 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100 \text{ kPa}$ , $N=4.0 \text{ kW}$ ;污泥输送泵4台,2用2备, $Q=120 \text{ m}^3/\text{h}$ , $H=200 \text{ kPa}$ , $N=15 \text{ kW}$ 。设计粉炭投加量为 $70 \text{ mg/L}$ ,PAC投加量为 $50 \text{ mg/L}$ ,PAM投加量为 $1 \text{ mg/L}$ 。

## 3 实际运行效果

该系统于2019年3月底全流程投入运行,进水量约 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,各处理单元的水质如表2所示。该工艺对COD、总氮、SS、色度的去除率分别达到95.9%、81.7%、98.7%、99.5%。

表2 污水处理厂实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality of the WWTP

项 目	pH值	COD/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	色度/倍	BOD <sub>5</sub> /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
调节池出水	7~9	1 688	41	390	1 200	573
初沉池	7.5~8.5	1 070	32	180	800	321
A/O池+二沉池	7.5~8.0	203	8.5	32	60	18
气浮池	6~7	102	8	14	20	4
臭氧接触池	6~7	90	7.8	17	12	
磁混凝池	6~7.5	68	7.5	5	6	2.4

4 技术经济分析

该项目总投资约 13 亿元,主要运行费用包括电费、药剂费以及污泥处置费,其他折旧、大修、人工费等不计,具体测算结果见表 3。

表 3 运行费用测算

Tab.3 Operating cost of wastewater treatment

项目		消耗量	单价	费用/ (元·m <sup>-3</sup> )
电		22.4×10 <sup>4</sup> kW·h/d	0.65 元/ (kW·h)	0.73
预处理	硫酸亚铁	60 t/d	193 元/t	0.058
	32% 液碱	60t/d	858 元/t	0.257
	阴离子 PAM	0.8t/d	14 600 元/t	0.058 4
气浮	聚铁	260 t/d	190 元/t	0.247
	高效絮凝剂	20 t/d	4 494 元/t	0.449
	阳离子 PAM	0.8 t/d	15 450 元/t	0.061 8
磁混凝	粉炭	14 t/d	7 450 元/t	0.521
	磁粉	0.005 t/d	3 600 元/t	0.000 9
	PAC	10 t/d	536 元/t	0.026 8
	阴离子 PAM	0.2 t/d	14 600 元/t	0.014 6
工业水		1 553 t/d	1.3 元/t	0.010
干污泥处理		138 t/d	845 元/t	0.58
臭氧租赁				0.06
合计				3.07

5 结论

① 绍兴污水处理厂采用综合混凝 + A/O + 气浮 + 臭氧 + 磁混凝工艺处理综合印染废水,废水处理量为 20×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,抗冲击负荷能力强,处理效果好,对 COD、总氮、SS 和色度的去除率分别达到 95.9%、81.7%、98.7%、99.5%,且最终出水指标均可达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)的直接排放标准,处理成本为 3.07 元/m<sup>3</sup>。

② 因现有工艺体量大,运行时间还较短,尚需对生化处理的参数控制、气浮段高效絮凝剂的筛选、臭氧催化氧化的提效、磁混凝工艺段粉炭吸附效果等多个环节进一步研究,从而进一步提高出水效果并有效降低运行成本。

参考文献:

[1] 戴日成,张统,郭茜,等. 印染废水水质分析特征及处

理技术综述[J]. 给水排水,2000,26(10):33-37.

DAI Richeng,ZHANG Tong, GUO Qian, *et al.* Summary of printing-dyeing wastewater treatment technology [J]. Water & Wastewater Engineering,2000,26(10):33-37 (in Chinese).

[2] 周迎科,夏广洁,冯雷. 臭氧氧化技术在印染废水回用系统中的应用[J]. 中国给水排水,2017,33(11):64-67.

ZHOU Yingke, XIA Guangjie, FENG Lei. Analysis of ozonation technology in dyeing wastewater reuse system [J]. China Water & Wastewater,2017,33(11):64-67 (in Chinese).

[3] 王蓓蓓,汪晓军,萧志豪,等. 纺织印染废水深度处理中试设计与运行[J]. 中国给水排水,2017,33(5):72-75.

WANG Beibei, WANG Xiaojun, XIAO Zhihao, *et al.* Design and operation of pilot-scale advanced treatment of textile printing and dyeing wastewater[J]. China Water & Wastewater,2017,33(5):72-75 (in Chinese).

[4] 郭训文,李炳辉,黄永秋,等. 执行准Ⅳ类地表水标准的印染废水深度处理实例[J]. 中国给水排水,2019,35(4):89-92.

GUO Xunwen, LI Binghui, HUANG Yongqiu, *et al.* Case study of advanced treatment for printing and dyeing wastewater in accordance with surface water with surface water quasi Ⅳ standard[J]. China Water & Wastewater, 2019,35(4):89-92 (in Chinese).

[5] 俞沈晶,唐志鹏,张亚超,等. MBR + 臭氧组合工艺处理印染废水案例分析[J]. 中国给水排水,2019,35(8):104-107.

YU Shenjing, TANG Zhipeng, ZHANG Yachao, *et al.* Case analysis of printing and dyeing wastewater treatment project with a combined process of MBR and ozonation [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(8):104-107 (in Chinese).

作者简介:丁静(1986-),女,江苏张家港人,硕士,工程师,主要从事工业废水治理、检测等工作。

E-mail:dingjing3945@126.com

收稿日期:2020-05-14

修回日期:2020-06-13

(编辑:衣春敏)