

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.21.018

# 印染工业园区污水厂提标改造关键技术中试研究

章一丹<sup>1,2,3</sup>, 徐灏龙<sup>1,2,3</sup>, 白俊跃<sup>1,2,3</sup>, 王长智<sup>1,2,3</sup>

(1. 浙江省生态环境科学设计研究院, 浙江 杭州 310007; 2. 国家环境保护水污染控制工程技术<浙江>中心, 浙江 杭州 310007; 3. 浙江省环境污染控制技术重点实验室, 浙江 杭州 310007)

**摘 要:** 钱塘江流域某印染工业园区污水厂处理量为 $30\times 10^4$  m<sup>3</sup>/d, 具有水量大、水质变化大、工业废水比例高、B/C值低、处理难度大等特点, 采用间歇膨胀水解+好氧+脱色混凝组合工艺对其进行处理, 取得了理想效果。在进水COD为1 084.2 mg/L、色度为173倍、TP为10.20 mg/L和NH<sub>3</sub>-N为38.98 mg/L的条件下, 出水COD达到95.3 mg/L、色度达到14.5倍、TP达到0.44 mg/L、NH<sub>3</sub>-N达到11.52 mg/L, 符合《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准。间歇膨胀水解池对COD的去除率达到27.9%, B/C值增幅为11.2%, 可生化性明显提高; 可替代初沉池达到同样的COD去除效果, 同时还具有停留时间短、污泥产量小等特点, 污泥量约为现有系统的80.7%。新型脱色混凝剂的脱色率为79.6%, COD去除率为41.0%, 替代传统混凝药剂具有更好的色度和COD去除效果。

**关键词:** 印染工业园区; 污水处理厂; 间歇膨胀水解池; 新型脱色混凝剂

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)21-0116-05

## Pilot Testing of Key Technologies for Upgrading of a Wastewater Treatment Plant in a Printing and Dyeing Industrial Park

ZHANG Yi-dan<sup>1,2,3</sup>, XU Hao-long<sup>1,2,3</sup>, BAI Jun-yue<sup>1,2,3</sup>, WANG Chang-zhi<sup>1,2,3</sup>

(1. Eco-Environmental Science Research & Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China; 2. State Environmental Protection Engineering <Zhejiang> Center for Water Pollution Control, Hangzhou 310007, China; 3. Key Laboratory of Environmental Pollution Control Technology of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

**Abstract:** The treatment capacity of a wastewater treatment plant in a printing and dyeing industrial park in the Qiantang River basin is  $30\times 10^4$  m<sup>3</sup>/d. The wastewater exhibits characteristics such as large flow rate, significant fluctuations in water quality, a substantial proportion of industrial wastewater, a low biochemical oxygen demand to chemical oxygen demand (B/C) ratio, and challenges in treatment. A combined process involving intermittent expansion hydrolysis, aerobic treatment and decolorization and coagulation was implemented for its treatment, yielding optimal results. Under the influent conditions of COD at 1 084.2 mg/L, chroma at 173 times, total phosphorus (TP) at 10.20 mg/L, and ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) at 38.98 mg/L, the effluent COD, chroma, TP and NH<sub>3</sub>-N was 95.3 mg/L, 14.5 times, 0.44 mg/L and 11.52 mg/L, respectively, complying with the class I limit specified in

基金项目: 浙江省生态环境科研和成果推广项目(2021HT0037)

通信作者: 徐灏龙 E-mail: 18868830390@126.com

*Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978-1996). The COD removal efficiency of the intermittent expansion hydrolysis tank reached 27.9%, while the B/C ratio increased by 11.2%, indicating a significant enhancement in biodegradability. It could serve as a substitute for the primary sedimentation tank, achieving equivalent COD removal efficiency while exhibiting characteristics of reduced residence time and minimal sludge production. The resulting sludge volume was approximately 80.7% of that produced by the existing system. The decolorization efficiency of the new decolorization coagulant was 79.6%, while its COD removal efficiency was 41.0%. This new coagulant demonstrated superior performance in both chroma and COD reduction compared to traditional coagulants.

**Key words:** printing and dyeing industrial park; wastewater treatment plant; intermittent expansion hydrolysis tank; new decolorization coagulant

钱塘江流域某印染工业园区污水厂处理量为  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 处理对象以印染生产废水为主, 具有水量大、水质变化大、工业废水比例高、B/C 值低、处理难度大等特点。目前采用传统城镇污水处理工艺, 但不可避免地出现了处理效果差、运行效率低、经济成本高等缺点。为满足出水水质不断提高的要求而实施的技术改造, 也存在处理难度大、投资成本高等不利因素。为解决提标减排问题, 在小试基础上, 采用间歇膨胀水解+好氧+脱色混凝组合工艺在该工业园区污水处理厂进行了中试, 并取得了理想效果, 为进行提标改造提供了解决方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验水质

试验用水取自厂区调节池, 中试设计处理量为  $40 \text{ m}^3/\text{d}$ 。进水主要为印染和化工废水等, 主要水质指标如下: 水温为  $23.7 \sim 40.5^\circ\text{C}$ , pH 为  $8.92 \sim 11.82$ , COD 为  $776.6 \sim 1413.6 \text{ mg/L}$ ,  $\text{BOD}_5$  为  $173.1 \sim 425.1 \text{ mg/L}$ , SS 为  $398 \sim 1200 \text{ mg/L}$ 。在测定 SS 中纤维类物质含量时, 先采用超声波破碎, 经 150 目筛过滤以后进行检测, 具体结果见表 1。

表1 调节池 SS 中纤维类物质含量

Tab.1 Fiber content in SS of regulating tank

项目	过滤前 SS/(mg· L <sup>-1</sup> )	过滤后 SS/(mg· L <sup>-1</sup> )	纤维类物 质/(mg· L <sup>-1</sup> )	纤维类物 质含量/%
第1次检测	651	533	117	18.05
第2次检测	980	845	135	13.78
第3次检测	636	562	74	11.69
平均值	756	647	109	14.51

进水水质波动较大, 具有碱度、温度、SS、COD 高, B/C 值低的特点, 进水 SS 中纤维类物质的含量占

15% 左右。

### 1.2 试验流程

污水处理厂目前采用调节池+初沉池+水解池+好氧池+混凝澄清池工艺, 考虑到原工艺 COD 去除率低、物化工艺污泥量大的不足, 在小试基础上, 中试采用间歇膨胀水解池(采用脉冲布水, 使底部污泥处于周期性的膨胀-收缩状态<sup>[1]</sup>)和新型脱色混凝剂(以二乙烯三胺、环氧氯丙烷、硫酸铝为原料制得<sup>[2]</sup>)为主体的高效、低污泥产量关键技术, 试验流程如图 1 所示。

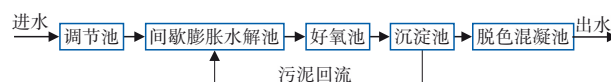


图1 中试流程

Fig.1 Flow chart of pilot-scale process

调节池废水经过提升后进入间歇膨胀水解池, 在兼氧状态下利用微生物将难降解有机物分解成小分子物质, 并对回流污泥进行减量化; 然后进入好氧池, 通过微生物好氧反应去除绝大部分的有机物, 把有机物氧化为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ; 好氧池出水进入沉淀池, 进行泥水分离, 同时污泥回流至间歇膨胀水解池; 出水进入脱色混凝池, 向其中投加新型脱色混凝剂, 以进一步去除废水中的剩余有机物和色度。

### 1.3 分析项目及方法

COD 采用重铬酸钾法测定, pH 采用 pH 仪测定,  $\text{NH}_3\text{-N}$  采用纳氏试剂分光光度法测定, TP 采用钼酸铵分光光度法测定, SS 采用重量法测定, 色度采用稀释倍数法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 COD 和 pH 的变化

中试运行时间从4月中旬持续到10月底, 各工

段进出水COD和pH的变化见表2。可知,总COD去除率为91.2%,达到了预期目的。水解池COD去除率达到27.9%,pH下降0.5,说明废水在水解池中发生了酸化。但由于印染废水中碱度含量较高,具有一定的缓冲作用<sup>[3]</sup>,pH平均值仍维持在9以上。

好氧池COD去除率达到79.3%,脱色混凝池COD去除率达到41.0%,说明生化出水中显色物质主要为水溶性好、难生物降解的污染物,采用新型脱色混凝剂能发挥其与亲水性阴离子污染物结合共沉淀的功能,达到同时降低COD和色度的目的<sup>[2]</sup>。

表2 进出水COD和pH的变化

Tab.2 Change of COD and pH in influent and effluent

项目	调节池		水解池		好氧池		脱色混凝池		HRT/h	
	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	水解	好氧
5月上平均值	1 091.7	10.0	971.0	9.6	166.5	8.9			12	20
5月下平均值	1 050.2	10.0	880.0	9.6	179.7	9.0			12	20
6月上平均值	1 122.8	9.8	752.0	9.3	159.9	8.9			13	20
6月下平均值	1 050.5	9.7	762.0	9.2	168.3	8.7			13	20
7月上平均值	1 047.4	9.6	783.0	9.1	142.7	8.4			13	20
7月下平均值	947.9	9.7	692.0	9.4	152.1	8.4			14	20
8月上平均值	987.0	9.8	597.0	9.3	152.3	8.5			16	20
8月下平均值	1 021.5	10.0	654.0	9.4	161.0	8.6			16	20
9月上平均值	1 126.6	9.9	784.0	9.2	159.5	8.4			16	25
9月下平均值	1 179.1	9.9	844.0	9.3	168.8	8.4			16	30
10月上平均值	1 191.8	9.5	835.4	9.2	161.4	8.6	92.1	8.3	15	20
10月下平均值	1 193.9	9.6	833.1	9.2	166.9	8.3	98.5	8.2	15	20
总平均值	1 084.2	9.8	782.3	9.3	161.6	8.6	95.3	8.3		

## 2.2 色度的变化

进出水色度的变化如图2所示。可知,水解池的脱色效果先短暂下降后逐渐提升,最后趋于稳定,说明其生物群落结构已逐渐发生适应性变化。经好氧处理后,疏水性染料和易降解物质基本被去除。新型脱色混凝剂能有效去除废水中的残余亲水性染料,以进一步降低废水的色度。水解池、好氧和脱色混凝池的脱色率分别为26.6%、44.1%和79.6%,总脱色率达到91.6%。

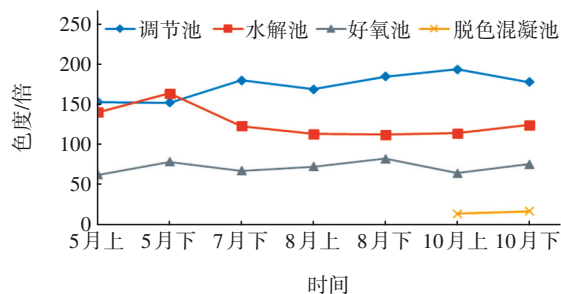


图2 进出水色度的变化

Fig.2 Change of chroma in influent and effluent

## 2.3 NH<sub>3</sub>-N和TP的变化

试验期间,调节池出水TP和NH<sub>3</sub>-N分别为10.20和38.98 mg/L,水解池出水TP和NH<sub>3</sub>-N分别

为7.69和43.24 mg/L,好氧池出水TP和NH<sub>3</sub>-N分别为4.61和9.73 mg/L,脱色混凝池出水TP和NH<sub>3</sub>-N分别为0.44和11.52 mg/L。分析发现,进水C/N值较高,其主要通过生化合成作用去除废水中的NH<sub>3</sub>-N。如需进一步提升对NH<sub>3</sub>-N的去除效果,需延长好氧生化停留时间或者投加填料以提升生化系统中硝化菌数量和硝化负荷<sup>[4]</sup>。由于工艺流程中无厌氧池,生物除磷效果一般。经生化处理后使用新型脱色混凝剂,发现对TP的去除效果明显提升,说明生化过程中颗粒态和有机态磷已转化为溶解态的磷酸盐<sup>[5]</sup>。

## 2.4 BOD<sub>5</sub>和B/C的变化

试验期间,调节池出水BOD<sub>5</sub>和B/C值分别为307.1 mg/L和0.278,水解池出水BOD<sub>5</sub>和B/C值分别为247.5 mg/L和0.309,好氧池出水BOD<sub>5</sub>和B/C值分别为15.6 mg/L和0.087。分析发现,水解池出水BOD<sub>5</sub>有小幅下降,平均去除率为19.42%,而B/C值平均有11.2%的增幅,可生化性明显提高。说明难降解有机物通过微生物的水解酸化作用转化为可降解的小分子物质,提高了可生化性。

2.5 SS、污泥浓度和污泥量分析

调节池出水 SS 平均值为 808.2 mg/L(第 1 批次为 980 mg/L、第 2 批次为 636.4 mg/L),SS 中无机成分(经 600 ℃煅烧 1 h 后测定灰分)比例的平均值为 71.82%(第 1 批次为 69.73%、第 2 批次为 73.90%),SS 中纤维及大颗粒比例的平均值为 12.74%(第 1 批次为 13.78%、第 2 批次为 11.69%)。

水解池内污泥浓度的变化见表 3。可知,间歇膨胀水解池底层污泥浓度明显高于悬浮层,这是由于采用了底部脉冲式布水方式,使底部污泥处于周期性的膨胀-收缩状态。底层污泥浓度总体逐渐升高,悬浮层污泥浓度变化幅度不大。水解池污泥浓度处于 10~20 g/L 区间能够保持比较好的运行状态。进水 SS 中无机成分占比为 72.25%,水解池 7.5、7.0、6.0、5.0、4.0 m 处污泥中的无机成分占比分别为 52.68%、52.56%、60.10%、59.81%、57.81%。可知,无机物和纤维类物质在反应器中被截留并不断累积,纤维素生化降解性差,其多官能团和丝状结构会导致污泥絮体结构和性能的变化,因此要保持水解池污泥的活性需定期进行污泥回流和排泥,以维持污泥的活性状态。

表 3 水解池内污泥浓度的变化

Tab.3 Change of sludge concentration in hydrolysis tank  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项 目	进水	水解池不同深度处污泥浓度					出水
		7.5 m	7.0 m	6.0 m	5.0 m	4.0 m	
6月24日	616	16 984	13 956	13 488	12 876	11 968	158
6月29日	800	14 348	12 756	11 248	11 604	10 092	125
7月14日	632	25 548	12 844	11 696	10 952	10 665	168
7月20日	727	21 689	17 328	13 656	11 470	10 660	177
8月17日	526	17 736	17 272	12 140	10 704	10 664	74
8月25日	708	18 716	16 640	12 672	11 640	11 400	142
9月9日	611	16 674	15 328	11 793	10 665	9 878	169
9月21日	613	21 164	17 201	15 000	12 445	10 444	198
9月29日	601	23 912	15 372	14 500		11 400	204
10月16日	536	24 676	15 080	14 072	13 448	12 584	175
平均值	637	20 145	15 378	13 027	11 756	10 976	159

水解池排泥量为 404 mg/L,脱色混凝池排泥量为 130.8 mg/L,总污泥量为 534.8 mg/L,约为现有系统污泥量的 80.7%。说明好氧生化污泥回流至水解池后,厌氧、好氧交替环境使分解代谢与合成代谢分离,根据能量解偶联理论造成污泥减量<sup>[6]</sup>。

2.6 不同药剂去除效果对比分析

当聚合氯化铝(PAC)投加量为 60 mg/L 时,出水 COD 为 137 mg/L、色度为 50 倍;当脱色混凝剂投加量为 57.5 mg/L、PAC 投加量为 40 mg/L 时,出水 COD 为 88 mg/L、色度为 20 倍;当脱色混凝剂投加量为 57.5 mg/L、聚丙烯酰胺(PAM)投加量为 8 mg/L 时,出水 COD 为 84 mg/L、色度为 16 倍。不同药剂投量下都出现了分层沉淀现象,说明沉淀效果较好。分析发现,脱色混凝剂+PAC、脱色混凝剂+PAM 的 COD 和色度去除效果明显优于单独 PAC 的。可见,由于作用机理不同,有机脱色混凝剂比无机混凝剂具备更好的亲水性阴离子污染物去除能力<sup>[7]</sup>。考虑到污泥产量,最佳加药组合为脱色混凝剂+PAM。

2.7 与厂区原有工艺处理效果对比分析

厂区原有初沉池的出水 COD 为 866.1 mg/L,水解池为 789.8 mg/L,好氧池为 150.2 mg/L,混凝澄清池为 133.8 mg/L。中试期间,间歇膨胀水解池出水 COD 为 782.0 mg/L,好氧池为 161.6 mg/L,脱色混凝池为 95.3 mg/L。可见,采用间歇膨胀水解+好氧+脱色混凝组合工艺处理后,出水水质能够达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准。由于间歇膨胀水解池具有污泥浓度高、具备污泥回流消化能力等特点,其替代初沉池可达到同样的处理效果,且停留时间更短、污泥产量更小。新型脱色混凝剂替代传统混凝剂具有更好的 COD 和色度去除效果。

3 结论

① 采用间歇膨胀水解+好氧+脱色混凝组合工艺对钱塘江流域某集中式工业园区污水处理厂进行了提标改造,并取得了理想效果。在进水 COD 为 1 084.2 mg/L、色度为 173 倍、TP 为 10.20 mg/L 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  为 38.98 mg/L 的条件下,出水 COD 为 95.3 mg/L、色度为 14.5 倍、TP 为 0.44 mg/L、 $\text{NH}_3\text{-N}$  为 11.52 mg/L,达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准。

② 间歇膨胀水解池对 COD 的去除率为 27.9%,而 B/C 值有 11.2% 的增幅,可生化性明显提高。替代初沉池可达到同样的 COD 去除效果,同时还具有停留时间短、污泥量小等特点,污泥量约为现有系统的 80.7%,说明水解池对进水 SS 和回流污泥具有明显的消化作用。



③ 脱色混凝池的脱色率为79.6%,COD去除率为41.0%,采用新型脱色混凝剂替代传统混凝剂具有更好的色度和COD去除效果。

#### 参考文献:

- [1] 白俊跃,徐灏龙,章一丹,等. 间歇膨胀水解工艺处理综合城镇污水的研究[J]. 中国给水排水,2011,27(7):30-32,36.
- BAI Junyue, XU Haolong, ZHANG Yidan, *et al.* Treatment of municipal composite wastewater by intermittent expansion hydrolysis process [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27 (7) : 30-32, 36 (in Chinese).
- [2] 彭振华,徐灏龙. 新型脱色絮凝剂在印染废水处理中的应用研究[J]. 中国给水排水,2015,31(5):83-86.
- PENG Zhenhua, XU Haolong. Application of new decolorizing flocculant to dyeing wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (5) : 83-86 (in Chinese).
- [3] 薛罡,何月玲,王晓暖,等. 印染废水的硫自养反硝化深度脱氮中试研究[J]. 中国给水排水,2022,38(13):15-21.
- XUE Gang, HE Yueling, WANG Xiaonuan, *et al.* Pilot study of sulfur-driven autotrophic denitrification for advanced nitrogen removal in secondary effluent of dyeing wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2022,38(13):15-21(in Chinese).
- [4] 章一丹,谢娟,徐灏龙,等. 城镇污水处理厂氨氮与总氮达标技术中试研究[J]. 中国给水排水,2015,31(9):29-32.
- ZHANG Yidan, XIE Juan, XU Haolong, *et al.* Pilot-scale study on technologies for reaching standard of

ammonia nitrogen and total nitrogen from municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2015,31(9): 29-32 (in Chinese).

- [5] 王刚,李魁晓,许骐,等. 城镇污水处理厂3种除磷方式耦合除磷效果研究[J]. 环境污染与防治,2022,44(11):1457-1461.
- WANG Gang, LI Kuixiao, XU Qi, *et al.* Study on the coupling effect of three kinds of phosphorus removal method in municipal wastewater treatment plant [J]. Environmental Pollution & Control, 2022, 44 (11) : 1457-1461(in Chinese).
- [6] 王莹莹,吴光学,李延晖,等. 旁路水解酸化强化污泥过程减量运行性能与机理研究[J]. 环境工程,2016,34(6):28-31,35.
- WANG Yingying, WU Guangxue, LI Yanxuan, *et al.* Performance and mechanism of a bypass hydrolysis and acidification process for enhanced sludge reduction during wastewater treatment [J]. Environmental Engineering, 2016,34(6):28-31,35(in Chinese).
- [7] 高陆玺,吕雪川,张弛,等. 用于印染废水处理的改性絮凝剂合成及其脱色性能[J]. 纺织学报,2022,43(7):121-128.
- GAO Luxi, LÜ Xuechuan, ZHANG Chi, *et al.* Synthesis and decolorizing performance of modified flocculant for treating dyeing wastewater [J]. Journal of Textile Research,2022,43(7):121-128(in Chinese).

作者简介:章一丹(1980—),男,浙江萧山人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水处理与资源化技术。

E-mail:zhangyidan1980@163.com

收稿日期:2022-11-30

修回日期:2023-01-22

(编辑:任莹莹)

保障用水安全

例行高效节约