

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.02.019

立体集约式组合工艺用于印染废水处理及回用

楼洪海¹, 楼朝刚¹, 陈伟¹, 杨青², 姜鸿¹, 成功³

(1. 中能环境科技有限公司, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江海拓环境技术有限公司, 浙江 杭州 310023; 3. 深圳市环境科学研究院, 广东 深圳 518001)

摘要: 针对印染废水的水质特点,引入竖向功能强化节地技术的理念,创新采用立体集约式“分类分质预处理+多级AO+双膜”组合工艺进行处理,有效解决了环保处理设施用地紧张的难题。结果表明,该组合工艺具有高效稳定、运行费用低及回用率高等优点,对COD、BOD₅、TN、NH₃-N和色度的平均去除率分别为92%、97%、80%、94%和85%,出水各项指标稳定达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)的间接排放标准,且回用水水质满足《纺织染整工业废水治理工程技术规范》(HJ 471—2020)中生产工艺用水水质要求,回用率达到62.5%。

关键词: 印染废水; 节地技术; 立体集约式; 多级AO; 回用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)02-0115-05

Application of Three-dimensional Intensive Combined Technology in the Treatment and Reuse of Printing and Dyeing Wastewater

LOU Hong-hai¹, LOU Chao-gang¹, CHEN Wei¹, YANG Qing², JIANG Hong¹,
CHENG Gong³

(1. Shenergy Environmental Technologies Co. Ltd., Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang HI-TECH Environmental Technology Co. Ltd., Hangzhou 310023, China; 3. Shenzhen Academy of Environmental Sciences, Shenzhen 518001, China)

Abstract: Based on the characteristics of printing and dyeing wastewater quality, the concept of vertical functional strengthening and land saving technology is introduced, the innovative use of a three-dimensional intensive combined process of classification and quality pre-treatment, multistage AO, and double membrane, effectively solves the problem of land shortage for environmental protection treatment facilities. The results show that the combined process has the advantages of high efficiency and stability, low operating costs and high reuse rate. The average removal rates of COD, BOD₅, TN, NH₃-N and chroma are 92%, 97%, 80%, 94% and 85%, respectively. The effluent indicators stably meet the indirect discharge criteria in *Discharge Standards of Water Pollutants for Dyeing and Finishing of Textile Industry* (GB 4287-2012), the quality of the reused water meets the water quality requirements of production process water in *Technical Specification for Dyeing and Finishing Wastewater Treatment of Textile Industry* (HJ 471-2020), and the reuse rate reaches 62.5%.

Key words: printing and dyeing wastewater; land saving technology; three-dimensional intensive form; multistage AO; reuse

1 工程概况

浙江某印染有限公司装备国际领先的印染设备,主要生产各类中高档棉、混纺印花、染色面料及服装产品,产品远销欧美和东南亚等国家,目前拥有年产约 2×10^4 m 高档生态及功能性纺织品染整面料等的生产能力。为加快公司的转型升级和结构调整,提升自身的综合竞争力,该公司于2022年9月底完成了全面搬迁及生产技改工作。因企业生产环节中会产生一定量的废水,为满足环保相关政策要求,助力国家“双碳”目标实现,需对生产废水进行处理及资源化利用,从而降低污染物的排放总量,实现企业减污降碳的目标。重点介绍该废水处理设施的工艺流程、设计特点、设计参数及技术经济评价,可为同类型环保工程的建设提供参考。

2 设计水量及水质

印染废水来源于多种生产工艺,具有高氮、强碱性和高色度等特点,还含有一定的抑制性污染物,属于较难降解的工业废水^[1-2]。根据业主提供的资料及实地调研结果,设计水量为16 000 m³/d,废水按不同性质分为三类,其中退浆工段产生的退浆废水量为600 m³/d,因上浆以淀粉浆为主,可生化性较好;印花工段产生的印花废水量为2 400 m³/d;染色及水洗等工段产生的综合废水量为13 000 m³/d。

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/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	色度/ 倍	SS/ (mg·L ⁻¹)	pH
生产废水	退浆废水	≤15 000	≤4 500	≤80	≤50	≤100	≤350	13
	印花废水	≤2 500	≤600	≤500	≤400	≤400	≤300	9~11
	综合废水	≤1 500	≤300	≤55	≤40	≤400	≤300	9~11
排放标准		≤200	≤50	≤30	≤20	≤80	≤100	6~9

注：回用水水质指标执行《纺织染整工业废水治理工程技术规范》(HJ 471—2020)及车间生产用水要求：电导率≤300 μS/cm，总硬度≤150 mg/L，色度≤10 倍，铁≤0.1 mg/L，锰≤0.1 mg/L，SS≤10 mg/L，pH 为 6.5~8.5。

结合《浙江省水污染防治行动计划》中有关印染行业重复用水率需达到45%以上的意见^[3]及行业

绿色生态的发展趋势,同时满足企业生产用水的需求,本工程设计回用率为62.5%,即回用10 000 m³/d,外排6 000 m³/d,外排水各项指标执行《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)的间接排放标准。

3 工艺流程及特点

3.1 工艺流程

鉴于目前国内对印染废水处理以物化-生化组合处理工艺为主^[4-6],本工程以资源利用和协同处理为技术目标,采用有针对性的先进处理工艺和技术成果,解决了COD和总氮等的达标、高回用率的稳定运行及污泥减量化等行业痛点。针对退浆废水中有机物浓度高和可生化性好的特点,经预处理后直接作为碳源投加,有效提高了各生化段的脱氮效率,同时降低了运行费用;针对印花废水有机污染物和总氮浓度较高的特点,采用气浮—新型水解—高效脱氮工艺,通过多级AO强化脱氮效果,降低后续生化处理负荷;针对综合废水有机物浓度低和水质来源复杂的特点,采用气浮—推流式水解—多级AO工艺,能有效去除废水中的有机物、色度和总氮等,保证出水水质达到膜进水要求;生化出水经双膜法处理后实现了回用。废水处理工艺流程见图1。

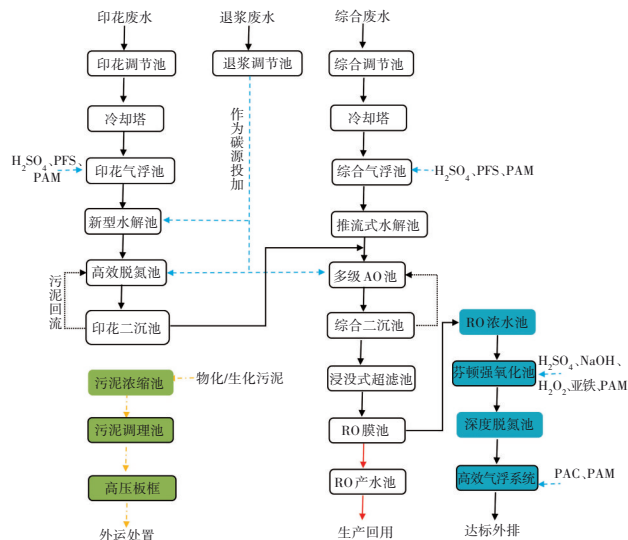


图 1 废水和污泥处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater and sludge treatment process

3.2 设计特点

① 充分利用平面及竖向空间,引入竖向功能,强化节地技术的设计理念,采用结构紧凑的多层立

体布置形式,功能分区时重点考虑设备检修、操作和物料运输等应用场景,同时兼顾功能性区域集中及管理高效便捷性。

② 按照“清污分流和分质处理”的原则,采用自主研发的印染废水全流程处理技术,具有处理高效、占地面积少、布局紧凑,运行费用低、污泥产量低及设备美观整洁等优点,不仅能确保出水稳定达标排放,还预留了远期提标的可能。

③ 高浓度废水采用多点布水的新型水解池进行处理,可保证难降解有机物的充分水解和有机氮的完全转化,也能大幅降低系统的污泥产量。

④ 为充分发挥生化池的处理效率,按最优水力学流态进行模拟和分析,所有池型设计为长方形廊道式,能有效节约曝气量和提高氧利用率。

4 主要处理系统及设计参数

4.1 退浆废水/印花废水

4.1.1 预处理系统

① 退浆调节池。1座,尺寸为15.0 m×5.0 m×5.2 m,有效水深3.5 m,HRT为10.5 h。主要配套设备:机械格栅1套,栅宽0.8 m,栅隙15 mm,功率0.75 kW;内进式网板格栅1套,栅宽0.8 m,栅孔3 mm, $N=2.05$ kW,配套输送机和冲洗泵;提升泵2台, $Q=30$ m³/h, $H=300$ kPa, $N=7.5$ kW;空气搅拌系统1套。

② 印花调节池。1座,尺寸为25.0 m×12 m×5.2 m,有效水深3.5 m,HRT为10.5 h。主要配套设备:机械格栅1套,栅宽0.8 m,栅隙15 mm,功率0.75 kW;内进式网板格栅1套,栅宽0.8 m,栅孔3 mm, $N=2.05$ kW,配套输送机和冲洗泵;提升泵3台, $Q=75$ m³/h, $H=400$ kPa, $N=15$ kW;空气搅拌系统1套;冷却塔2台。

③ 印花气浮池。反应絮凝池1座,尺寸为6.0 m×2.0 m×4.5 m,有效水深4.0 m,HRT为23.0 min。主要配套设备:高效浅层气浮1套,单套处理量为150 m³/h,直径7.0 m, $N=19.8$ kW;混合搅拌机1套,转速为50~60 r/min, $N=4.0$ kW;絮凝搅拌机2套,转速为20 r/min, $N=1.5$ kW。

4.1.2 生化处理系统

① 新型水解池。1座,多点布水方式,尺寸为24.0 m×20.0 m×8.5 m,有效水深8.0 m,HRT为30.7 h,容积负荷为3.32 kgCOD/(m³·d)。主要配套

设备:循环泵3台, $Q=125$ m³/h, $H=100$ kPa, $N=7.5$ kW;脉冲布水器、排泥系统、布水系统各1套。

② 高效脱氮池。1座,尺寸为(30.5 m×25.0 m+25.5 m×15.0 m)×8.5 m,有效水深8.0 m,HRT为73.3 h(A段为22 h),容积负荷为0.35 kgCOD/(m³·d),总氮负荷为0.06 kgTN/(kgMLSS·d),氨氮负荷为0.03 kgNH₃-N/(kgMLSS·d)。主要配套设备:推流器4台, $N=4$ kW;可提升管式曝气器300套,支管DN32;硝化液回流泵2台, $N=1.5$ kW;空气悬浮风机2台, $Q=100$ m³/min, $H=100$ kPa, $N=186$ kW。

③ 印花二沉池。1座,尺寸为30.0 m×6.0 m×5.0 m,有效水深4.5 m,表面负荷0.69 m³/(m²·h)。主要配套设备:刮泥机1套, $N=1.15$ kW;污泥回流泵2台, $Q=100$ m³/h, $H=150$ kPa, $N=7.5$ kW。

4.2 综合废水

4.2.1 预处理系统

① 综合调节池。1座,面积为1560 m²,深为5.2 m,有效水深3.5 m,HRT为10.0 h。主要配套设备:机械格栅1套,栅宽1.2 m,栅隙15 mm,功率1.1 kW;内进式网板格栅,栅宽1.2 m,栅孔3 mm, $N=2.05$ kW,配套输送机和冲洗泵;提升泵3台, $Q=350$ m³/h, $H=400$ kPa, $N=75$ kW;空气搅拌系统1套;冷却塔2台。

② 综合气浮池。反应絮凝池2座,单座尺寸为9.0 m×3.0 m×4.5 m,有效水深4.0 m,HRT为24.0 min。主要配套设备:高效浅层气浮2套,单套处理量为300 m³/h,直径10.0 m, $N=39.2$ kW;混合搅拌机2套,转速为50~60 r/min, $N=4.0$ kW;絮凝搅拌机4套,转速为20 r/min, $N=1.5$ kW。

4.2.2 生化处理系统

① 推流式水解池。1座(内分2组),尺寸为60.0 m×40.0 m×8.5 m,有效水深8.0 m,HRT为35.4 h,容积负荷为0.69 kgCOD/(m³·d)。主要配套设备:推流器12台, $N=5.5$ kW;刮泥机4套, $N=1.15$ kW;污泥回流泵4台, $Q=250$ m³/h, $H=150$ kPa, $N=18.5$ kW。

② 多级A/O池。2座,单座尺寸为47.5 m×40.5 m×8.5 m,有效水深8.0 m,HRT为46.2 h(A段为13.3 h),容积负荷为0.44 kgCOD/(m³·d),总氮负荷为0.02 kgTN/(kgMLSS·d),氨氮负荷为0.01 kgNH₃-N/(kgMLSS·d)。主要配套设备:推流器8台, $N=4$ kW;可提升管式曝气器900套,支管DN32;

硝化液回流泵8台, $N=1.5\text{ kW}$; 空气悬浮风机3台, $Q=100\text{ m}^3/\text{min}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=186\text{ kW}$ 。

③ 综合二沉池。2座, 单座尺寸为 $40.5\text{ m}\times 12.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}$, 有效水深 4.5 m , 表面负荷 $0.69\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。配套设备: 刮泥机4套, $N=1.15\text{ kW}$; 污泥回流泵6台, $Q=170\text{ m}^3/\text{h}$, $H=220\text{ kPa}$, $N=18.5\text{ kW}$ 。

4.2.3 深度处理系统

① RO浓水池。1座, 尺寸为 $12.0\text{ m}\times 10.0\text{ m}\times 5.2\text{ m}$, 有效水深 4.5 m , HRT为 2.2 h 。主要配套设备: 提升泵3台, $Q=250\text{ m}^3/\text{h}$, $H=300\text{ kPa}$, $N=30\text{ kW}$; 空气搅拌系统1套。

② 芬顿强氧化系统。4座, 单座反应池尺寸为 $10.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}$, 有效水深 4.5 m , HRT为 3.6 h ; 单座沉淀池尺寸为 $24.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}$, 有效水深 4.5 m , 表面负荷 $0.52\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。主要配套设备: 重型刮泥机4套, $N=1.5\text{ kW}$; 反应搅拌机6套, 转速为 $50\sim 60\text{ r/min}$, $N=7.5\text{ kW}$; 絮凝搅拌机2套, 转速为 20 r/min , $N=2.2\text{ kW}$; 排泥泵2台, $Q=130\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$ 。

③ 深度脱氮池。2座, 单座尺寸为 $40.5\text{ m}\times 6.0\text{ m}\times 8.5\text{ m}$, 有效水深 8.0 m , HRT为 15.6 h , 总氮负荷为 $0.01\text{ kgTN}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$, 氨氮负荷为 $0.01\text{ kgNH}_3\text{-N}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ 。主要配套设备: 流化专用推流器8台, $N=5\text{ kW}$; 可提升管式曝气器128套, 支管DN32; 高效脱氮系统2套, 含MBBR填料、拦截网、流化系统等。

④ 高效气浮系统。1套, 处理量为 $417\text{ m}^3/\text{h}$, 功率为 28.1 kW , 含回流泵、空压机和排渣设施等。

⑤ 脱色/外排池。2座, 单座尺寸为 $40.6\text{ m}\times 12.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}$, 有效水深 2.8 m , HRT为 10.9 h 。主要配套设备: 巴氏计量槽1套; 提升泵2台, $Q=200\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$ 。

4.2.4 回用处理系统

① 浸没式超滤装置。共1420片膜, 单片膜面积为 40 m^2 , 膜片PVDF材质, 设计通量为 $12.8\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 运行时间 22 h/d , 膜运行最大压差为 0.05 MPa , 膜反洗最大压力为 0.10 MPa , 配套反洗风机、产水泵、反洗泵、回流泵各1套。

② RO装置。共4套, 单套设计膜产水能力为 $115\text{ m}^3/\text{h}$, 运行时间 22 h/d , 脱盐率为 96.5% , 配套原水泵、高压泵、保安过滤器、冲洗泵、清洗加药装置各1套。

4.2.5 污泥处理系统

① 污泥浓缩池。1座(内分3格), 单座尺寸为 $30.0\text{ m}\times 10.0\text{ m}\times 6.0\text{ m}$, 有效水深 5.5 m 。主要配套设备: 立式桨叶式搅拌机6台, 转速为 30 r/min , $N=4.0\text{ kW}$; 空气搅拌系统6套。

② 调理池。1座(分4格), 尺寸 $20.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 6.0\text{ m}$, 有效水深 5.5 m 。配套设备: 立式桨叶式搅拌机4台, 转速为 $50\sim 60\text{ r/min}$, $N=5.5\text{ kW}$ 。

③ 脱水系统。高压隔膜板框压滤机4套, 400 m^2 , $N=14.3\text{ kW}$, 污泥含水率 $\leq 65\%$; 进料柱塞泵4套, $Q=60\text{ m}^3/\text{h}$, H 为 $0\sim 1.2\text{ MPa}$, $N=22\text{ kW}$; 配套压榨水箱和压榨泵各2套。

5 技术经济评价

5.1 经济分析

本工程占地面积为 8700 m^2 , 总投资约为 1.5520 亿元, 废水处理直接运行费用为 $3.15\text{ 元}/\text{m}^3$ (含电费、药剂费、污泥处理费及人工费), 回用处理直接运行费用为 $2.50\text{ 元}/\text{m}^3$ (含电费、药剂费及膜折旧费); 该项目投产后可减少 $330\times 10^4\text{ m}^3/\text{a}$ 的废水外排量, 排污和河水取用费按 $3.00\text{ 元}/\text{m}^3$ 计, 则每年可节约 165 万元。

5.2 运行情况

该工程于2022年9月底投入运营, 经过半年的连续调试, 运行稳定且耐冲击负荷能力强, 生化池MLSS控制在 $4.0\sim 6.0\text{ g/L}$ 。2023年3月实际进水水质均在设计水质范围内, 出水平均水质优于设计标准, 同时经双膜法深度处理后的各项水质指标也符合生产回用的要求。各处理单元去除效果见表2。

表2 各处理单元去除效果

Tab.2 Removal effect of each processing unit

项目		COD/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	BOD ₅ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	色度/ 倍	SS/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
新型水解池	进水	4 250	510	396	490	300	150
	出水	3 400	408	410	490	150	105
高效脱氮池/二沉池出水		442	82	80	70	105	73.5
推流式水解池出水		1 020	204	40	52	90	120
多级AO池/二沉池出水		109	18	8	11	63	60
RO浓水池进水		292	48	21	30	168	160
芬顿强氧化系统出水		191	34	21	30	67	80
深度脱氮/高效气浮出水		172	30	17	26	61	40
排放标准		≤ 200	≤ 50	≤ 20	≤ 30	≤ 80	≤ 100

6 结论

① 由于可建设用地紧张,故设计时打破了传统污水处理厂单一平铺的布置形式,引入类似综合体的多层立体式格局设计理念,科学合理地划分不同功能区域。

② 印染废水经“分类分质预处理+多级AO+双膜”组合工艺处理后,出水水质达到GB 4287—2012的间接排放标准,且回用水水质满足HJ 471—2020中生产工艺水质要求,回用率达到62.5%。整套处理系统调控性较好,适应水量及水质变化的能力较强,同时脱氮和去除有机污染物的能力较强,适用于含高浓度有机污染物及高氮的印染废水处理及回用。

③ 经调试期不同水温的测试分析,要保证后续生化处理系统高效及稳定运行,进入生化池的水温应控制在38.2℃以下,故冷却塔的数量应按夏季最高气温条件进行设计配置。

参考文献:

- [1] 徐锋. 印染废水处理改造及污泥减量化的设计及运行[J]. 工业水处理, 2021, 41(1): 130-135.
XU Feng. Design and operation of printing and dyeing wastewater treatment and sludge reduction [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(1): 130-135 (in Chinese).
- [2] 周静. 纺织印染废水处理工程实例[J]. 印染助剂, 2019, 36(8): 45-47.
ZHOU Jing. Example of textile printing and dyeing wastewater treatment project [J]. Textile Auxiliaries, 2019, 36(8): 45-47 (in Chinese).
- [3] 谭映宇, 王慧荣, 张宇, 等. 嘉兴市印染业中水回用率影响因素及对策研究[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(1): 129-133, 141.
TAN Yingyu, WANG Huirong, ZHANG Yu, et al. Study on the influencing factors and countermeasures of reuse rate of reclaimed water in dyeing industry in Jiaxing [J]. Environmental Pollution & Control, 2022, 44(1): 129-133, 141 (in Chinese).
- [4] 赵健忠, 王学华, 王浩, 等. 浙江某印染废水处理工程改造及分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(14): 134-137.
ZHAO Jianzhong, WANG Xuehua, WANG Hao, et al. Reconstruction and analysis of a printing and dyeing wastewater treatment project in Zhejiang [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 134-137 (in Chinese).
- [5] 蔡芬芬, 马振英. 高浓度印染废水处理工程实例[J]. 工业用水与废水, 2022, 53(3): 63-66.
CAI Fenfen, MA Zhenying. A project example of high concentration printing and dyeing wastewater treatment [J]. Industrial Water & Wastewater, 2022, 53(3): 63-66 (in Chinese).
- [6] 高博文, 葛谦益, 金鹏康, 等. 印染废水分质处理模式及其在改造工程中的应用[J]. 工业水处理, 2020, 40(9): 119-123.
GAO Bowen, GE Qianyi, JIN Pengkang, et al. Printing and dyeing wastewater source separation treatment process and its application in reconstruction project [J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(9): 119-123 (in Chinese).

作者简介:楼洪海(1970—),男,浙江东阳人,本科,高级工程师,国家注册环保工程师,主要从事城市非常规水源再生及利用的技术研究工作。

E-mail:85301964@qq.com

收稿日期:2023-03-17

修回日期:2023-04-06

(编辑:衣春敏)