

戴栋超. 某印染工业污水处理厂工艺路线及设计实例[J]. 净水技术, 2023, 42(11): 136–141.

DAI D C. Process route and design case of a printing and dyeing industrial WWTP[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(11): 136–141.

某印染工业污水处理厂工艺路线及设计实例

戴栋超*

(上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125)

摘 要 嘉兴某印染工业污水处理厂设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用半地下建设型式, 进水印染废水比例高达 92%, 废水组成成分复杂, 难降解有机物浓度高, 要求出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 排放标准。针对进水水质特点, 设计采用二级生化 and 物化组合处理工艺, 通过中试试验确定适用的处理单元及设计参数并进行工程设计, 比选分析后采用“预处理+调节池+初沉池+厌氧-缺氧-好氧-缺氧-膜生物反应器(AAOA-MBR)生化池+改良型芬顿+高效沉淀池+滤布滤池”的污水处理工艺路线。文中详细介绍了主要构筑物设计参数, 对工程投资及运行成本进行了分析, 可为同类型工业污水处理厂建设提供工程设计指导。

关键词 印染废水 半地下式 中试 膜生物反应器(MBR) 改良型芬顿

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2023)11-0136-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.11.016

Process Route and Design Case of a Printing and Dyeing Industrial WWTP

DAI Dongchao*

(Shanghai Urban Construction Design & Research Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract The design scale of a printing and dyeing industrial wastewater treatment plant (WWTP) in Jiaxing is $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, using a semi-underground construction type, the proportion of influent printing and dyeing wastewater is as high as 92%. The composition of the wastewater is complex, and the concentration of difficult to degrade organic matter is high. The effluent quality is required to meet the first class A discharge standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). Based on the characteristics of influent water quality, a two-stage biochemical and physicochemical combination treatment process is designed. Suitable treatment units and design parameters are determined through pilot tests and engineering design is carried out. After comparison and analysis, a wastewater treatment process route of "pre-treatment + regulating tank + initial sedimentation tank + AAOA-MBR+improved Fenton+high-efficiency sedimentation tank+ cloth media filter" is adopted. The article provides a detailed introduction to the main structural design parameters, analyzes the engineering investment and operating costs, and provides engineering design guidance for the construction of similar industrial WWTPs.

Keywords printing and dyeing wastewater semi-underground pilot-scale test membrane bio-reactor (MBR) modified Fenton

近年来,随着经济的快速增长,国家对城市环境保护工作提出了更高的要求,国家与地方环保相关部门也出台了相关污水处理技术的规范和要求更高的排污标准。当前,嘉兴市秀洲区工业废水、生活污水全部纳入嘉兴污水处理厂集中处理达标排放,但是随着排放标准的进一步提高以及原厂提标扩建难度的增加,亟需新建一座以工业废水为主的污水处

理厂。

根据产业分布,该工业污水处理厂服务对象为印染企业聚集区的印染废水及生活污水。印染废水是一种难处理工业废水,主要来源于预处理、染色、印花、整理等工序,是工业污染防治的重点行业之一^[1]。由于纺织印染工艺的快速发展及后处理技术的进步,新型助剂等难生化降解的有机物被大量引入印染废水。同时,管理部门又对印染行业节水有较高的要求,企业印染废水经过多次处理回用,使得企业排入到集中污水处理厂的难降解有机物浓度

[收稿日期] 2023-05-08

[通信作者] 戴栋超(1981—),男,研究方向为市政给排水系统及水处理,E-mail:daidongchao@suedri.com。

提高^[2]。目前,采用传统的二级生化处理工艺,再加上生活污水的稀释作用,工业废水处理后排放出水 COD_{Cr} 质量浓度在 100 mg/L 左右,难以再满足进一步提高出水标准的需求^[3-4]。

本文介绍了嘉兴某印染产业聚集区污水处理厂工程方案前期研究及工程设计过程。根据浙江省相关政策指导,采用半地下建设型式,主要水处理构筑物组合式布置,节省用地及构筑物间水头损失,上部操作层加盖增加运行维护舒适性及周边环境适应性;污水处理工艺采用二级生化处理,并通过中试研究确定针对难降解污染物的深度处理工艺,得出具体的工程设计参数、工程造价及运行成本。最终出水标准满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 排放标准,以期为集约化地下式环境友好型工业污水处理厂建设提供工艺选择及工程设计经验。

1 设计进出水水质

该工程设计规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,包括服务范围内工业废水及居民生活污水,经对管网输送污水流量统计分析,进水以工业废水为主,水量占比约为 92%,工程服务范围内共 39 家企业,其中印染行业 30 家。

该工程设计工业废水进水方式为印染废水间接排放模式。印染企业废水间接排放 COD_{Cr}、BOD₅ 结合实测数据,按照《纺织染整工业水污染物排放标准》修改单中间接排放最大限值,即 COD_{Cr} 质量浓度按 500 mg/L, BOD₅ 质量浓度按 150 mg/L,其余指标按照《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)间接排放标准执行。

该工程出水水质标准根据地区环境承载能力及项目环评要求确定,设计进出水水质指标如表 1 所示。

表 1 设计进出水水质指标

Tab. 1 Designed Influent and Effluent Water Quality Indices

项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP	pH 值	色度
设计进水水质	500	150	100	30	20	1.5	6~9	80
设计出水水质	50	10	10	15	5(8)	0.5	6~9	30
要求去除率	≥90.00%	≥93.33%	≥90.00%	≥50.00%	≥75.00%	≥66.67%	/	≥62.5%

注:除 pH、色度无单位,其他污染物指标单位为 mg/L;括号外数值为 >12 ℃ 时的控制指标,括号内数值为水温 ≤12 ℃ 时的控制指标。

2 污水处理工艺比选

对印染工业废水而言,简单的物化和生化工艺组合难以达到排放要求。这就要求针对印染废水的特点选择合理的组合工艺,并重视工艺的衔接,以及确定合理经济的技术参数^[5-6]。

2.1 生物处理工艺分析

根据工程进出水水质,该工程生物处理工艺需具备脱氮除磷功能的二级生物处理,本文对常用的几种脱氮除磷工艺进行对比分析,结果如表 2 所示。

表 2 几种脱氮除磷生物处理工艺对比

Tab. 2 Comparison of Several Biological Treatment Processes for Nitrogen and Phosphorus Removal

项目	氧化沟工艺	序批式反应工艺	AAO 工艺	AAOA-MBR
容积负荷/ (kg BOD ₅ · m ⁻³ · d ⁻¹)	0.2~0.3	0.2~0.5	0.2~0.6	0.4~0.8
耐冲击性能	一般	一般	较好	最好
水质适应性	对水质变化适应能力强,但运行模式单一	完全混合式,对水质变化较为敏感,需要调整运行工艺参数	完全混合模式结合推流模式运行,对水质变化适应性较强	完全混合结合推流模式,处理效果较好,对水质变化适应性最强
处理效果	一般	一般	较好	最好
运行费用	低	适中	适中	稍高
构筑物占地面积	很大	较大	较大	最小
污泥量	较多	较多	较多	较低
对周围环境影响	一般	一般	一般	较小

经综合比选,厌氧-缺氧-好氧-缺氧-膜生物反应器(AAOA-MBR)工艺具有以下特点。

(1)缩短处理工艺流程,节省占地面积,能够更好地适用于半地下的建设型式。

(2)延长污泥停留时间可以降低污泥有机负荷,有利于难降解有机物的去除,出水水质好,耐冲击性能好。

(3)膜投资及运行成本已逐步降低。本项目膜的折旧成本约为 0.2 元/ m^3 ,运行成本降低到 0.2~0.3 元/ m^3 。

因此,二级生化处理工艺推荐采用 AAOA-MBR 工艺。

2.2 中试工艺比选分析

为进一步探究和验证工艺的合理性,并优化确定相关设计参数,该工程于 2020 年 8 月启动中试试验。如图 1 所示,中试装置放置于工程服务范围某污水泵站内,装置进水接自泵站进水总管,二级生物处理段采用 AO-MBR 工艺,处理水量为 25 m^3/d 。



图 1 中试现场

Fig. 1 Site of Pilot-Scale Test

中试装置共运行约 3 个月,主要分 4 个阶段,包括 AO-MBR 反应器启动阶段,运行约 2 周;AO-MBR+臭氧+悬浮填料生物膜法(CBR)工艺及水解酸化+AO-MBR+臭氧+CBR 工艺运行期,约 1 个月;AO-MBR+臭氧+CBR 工艺运行期,期间同步进行普通芬顿试验,约 1 个月;AO-MBR 工艺单独运行及 AO-MBR+改良芬顿催化氧化工艺运行期,约 2 周。

反应器成功启动后,经过二级生化工艺段处理出水平均 COD_{Cr} 质量浓度为 88~102 mg/L ,不能满足出水标准要求,该部分 COD_{Cr} 为难降解有机物,采用长时间的好氧曝气已无法进一步提高去除率,需采用高级氧化深度处理技术。首先进行臭氧深度处理工艺试验,臭氧+CBR 工艺出水平均 COD_{Cr} 质量浓度约为 44 mg/L ,但出水稳定性较差,故考虑在反应器前端增加水解酸化段,进一步探究水解酸化池的适用性。

(1) 水解酸化池的适用性分析

一般来说,设置水解酸化池是提高工业污水可生化性的常规措施,通过水解酸化可使污水中的非溶解有机物被水解为溶解性有机物,大分子物质被降解为小分子物质,污水的可生化性大大提高,这对于后续生物处理非常有利。

考虑到该工程进水以印染工业废水为主,难降解有机物占比高,对水解酸化工艺段在该工程的适用性进行试验分析,对比试验处理效果如表 3 和图 2 所示。

表 3 水解酸化工艺段试验结果

Tab. 3 Experimental Results of Hydrolysis Acidification Process Section

项目	进水 $\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	水解段出水 $\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	水解段效率	二级生物段出水 $\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	二级生物处理段效率
无水解段	514.5	/	/	99.0	80.76%
有水解段	432.9	308.4	28.76%	100.2	67.51%

通过分析可得,水解酸化工艺段对于该工程有以下适用特点。

①对 COD_{Cr} 具有一定的去除能力,对减小生物处理段的负荷有利。试验期间,水解酸化段进水平均 COD_{Cr} 质量浓度为 432.9 mg/L ,经水解酸化段后,出水平均 COD_{Cr} 质量浓度为 308.4 mg/L , COD_{Cr} 去除效率约为 28.76%。

②具有稳定进入生物处理段的水质效果。水解

酸化段进水 COD_{Cr} 统计标准偏差为 170.7 mg/L ,水解酸化出水 COD_{Cr} 统计标准偏差为 81.4 mg/L ,进入二级生物处理段 COD_{Cr} 波动明显变小。

③对提升二级生物处理段去除能力不高。无论试验中是否采用水解酸化段,二级生物段出水 COD_{Cr} 质量浓度均在 100 mg/L 左右,对难降解有机物的可生化性提高作用不明显。

综上,对于该工程来水,水解酸化工艺段仅能够

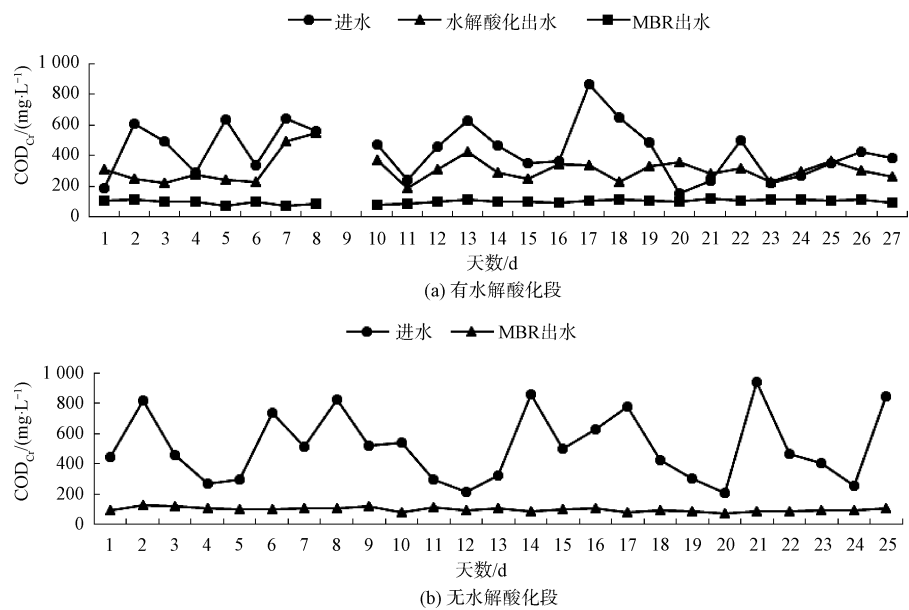


图2 水解酸化工艺段处理效果

Fig. 2 Treatment Effect for Hydrolysis Acidification Process Section

发挥进水均质的功能,但对于二级生物处理段去除 COD_{Cr} 提升效果并未达到预期效果。考虑到水解酸化要求水力停留时间(HRT)较长(10 h),构筑物占地较大、投资高、效果不明显,该工程不设置水解酸化工艺段。

(2)高级氧化深度处理工艺比选分析

因水解酸化对于二级生物处理段去除 COD_{Cr} 提升效果不明显,且臭氧氧化工艺处理出水稳定性

差,进一步对臭氧氧化+CBR 工艺与改良芬顿催化氧化工艺处理效果进行比选分析。对比方案如下。

方案一:臭氧氧化+CBR 组合工艺。臭氧采用射流曝气,臭氧投加量为 90 mg/L。

方案二:改良芬顿催化氧化工艺。浓硫酸投加量为 400 mg/L,硫酸亚铁投加量为 250 mg/L, H₂O₂ 投加量为 250 mg/L, NaOH(液体)投加量为 400 mg/L。

两种深度处理方案处理效果如表 4 所示。

表4 深度处理工艺处理效果对比

Tab. 4 Comparison of Treatment Effects for Advanced Treatment Processes

项目	方案一(平均值)	方案二(平均值)	备注
进水 COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	433.2	359.3	原水
深度处理工艺段进水 COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	101.9	88.1	MBR 出水
深度处理工艺段出水 COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	44.5	27.9	
深度去除效率	56.33%	68.33%	
总去除效率	89.73%	92.23%	

经比选分析,结果如下。

(1)出水效果:两方案平均出水均能够达到一级 A 出水标准,方案一平均出水 COD_{Cr} 质量浓度为 (44.5±7.3) mg/L,方案二平均出水 COD_{Cr} 质量浓度为(27.9±2.7) mg/L,方案二出水效果更优。

(2)出水稳定性:方案一出水 COD_{Cr} 样本标准差为 7.3 mg/L,出水质量浓度为 26~66 mg/L,>

50 mg/L 的天数为 14 d,超标率为 19%;方案二出水 COD_{Cr} 样本标准差为 2.7 mg/L,出水质量浓度为 24~33 mg/L,中试期间无超标现象,方案二出水稳定性更好。

(3)运行成本:方案一约为 1.19 元/m³,方案二约为 1.17 元/m³,两方案运行成本基本相同。

故该工程高级氧化深度处理技术采用改良型芬

顿催化氧化工艺。

3 工程设计

3.1 工艺设计流程

该工程采用一体化半地下建设型式,各工艺段采用方案如图3所示:(1)预处理工艺,细格栅及曝

气沉砂池+调节池+初沉池+膜格栅;(2)二级处理工艺,AAOA-MBR工艺;(3)深度处理工艺,芬顿催化氧化工艺+高效沉淀池+滤布滤池;(4)污泥处理工艺,重力浓缩+离心脱水;(5)除臭工艺,生物除臭+化学除臭工艺。

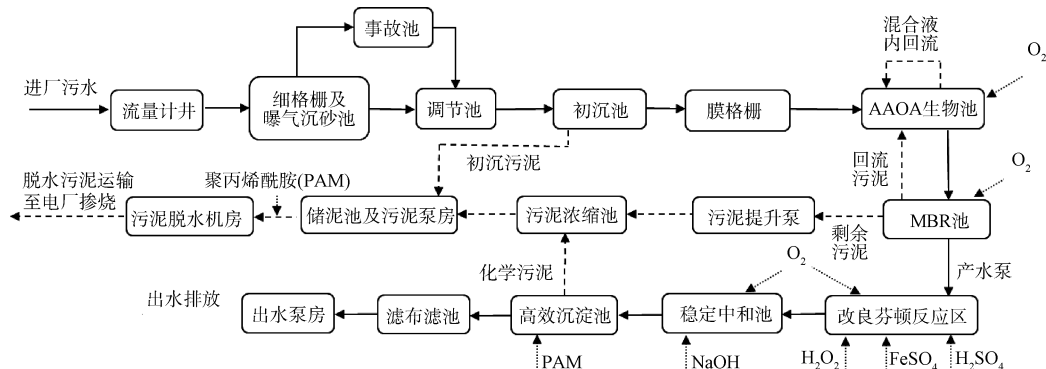


图3 工艺流程

Fig. 3 Process Flow

3.2 主要构筑物设计参数

(1) 细格栅与曝气沉砂池

矩形钢筋砼结构,1座3渠道,HRT为15 min,曝气至污水中的风量为 $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (空气/污水)。配置回转式细格栅3套,栅条间隙为6 mm。

(2) 调节池

矩形钢筋砼构筑物,采用在线调节,最大停留时间为8 h,内设推流搅拌器,采用潜水轴流泵(4套,2用2备)将污水提升至生物池。轴流泵流量 $Q=1150 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=3.95 \sim 6.85 \text{ m}$,功率 $N=25 \text{ kW}$ 。

(3) AAOA生物池

矩形钢筋砼结构,分为2组,单座尺寸为 $102.8 \text{ m} \times 37.5 \text{ m}$,有效水深为6.8 m,生物池HRT为23 h,其中好氧池HRT为15.4 h,缺氧池HRT约为6 h。生物池混合液悬浮固体质量浓度为 $4000 \sim 6000 \text{ mg/L}$,混合液回流比为 $200\% \sim 300\%$,污泥回流比为 $100\% \sim 200\%$,曝气气水比约为6:1。

(4) MBR系统

膜系统安装于矩形钢筋砼池体内,分为2座,单座8格,单座尺寸为 $27.2 \text{ m} \times 13.8 \text{ m}$,有效深度为4.8 m,停留时间为1.7 h,MBR池内混合液悬浮固体质量浓度为 8000 mg/L 。膜系统采用中空纤维膜,材质为聚偏二氟乙烯,采用不锈钢304支架。膜表面积为 $1760 \text{ m}^2/\text{套}$,共设置80套,膜通量为

$14.80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

(5) 改良型芬顿催化氧化系统

该系统由芬顿反应区及稳定中和池组成。

芬顿反应区主要放置芬顿催化氧化反应罐,罐体为不锈钢材质,接MBR产水总管,在反应罐内先投加98%浓硫酸,调节废水pH值至 $3.5 \sim 4.5$,创造反应条件,然后投加硫酸亚铁、 H_2O_2 (27.5%)实现有机物的氧化去除。催化反应罐共4套,单罐尺寸为 $\phi 3.5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,内置多金属复合催化填料质量约为3.5 t,HRT约为9 min;氧化反应罐共2套,单罐尺寸为 $\phi 3.5 \text{ m} \times 9 \text{ m}$,HRT约为4 min。

稳定中和池功能为进一步调节水量和完善反应,稳定池末端投加NaOH (32%),中和回调废水pH值至 $6.8 \sim 7.2$ 。池体为矩形钢筋砼结构,玻璃钢防腐九油七布,1座2格,尺寸为 $40 \text{ m} \times 27.8 \text{ m}$,有效水深为6.3 m,HRT约为3 h,曝气强度为 $1.35 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。配套曝气搅拌鼓风机2台(1用1备),单台风机 $Q=70 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=7.8 \text{ m}$, $N=106 \text{ kW}$ 。

(6) 污泥处理系统

该工程污泥分为初沉池污泥、剩余污泥、化学污泥,泥量分别约为3.5、4.0、7.5 t DS/d,总污泥量约为15 t DS/d。污泥经浓缩脱水至含水率为80%外运至电厂焚烧。污泥处理系统有2座污泥浓缩池及污泥脱水车间。主要设计参数如下。

污泥浓缩池:2座 $\phi 16 \text{ m}$ 浓缩池,出泥含水率为

97%, 固体通量为 $37.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 设置中心传动刮泥机 2 套。

污泥脱水机房: 半地下车间, 设卧式离心脱水机 2 台(1 用 1 备), 出泥含水率为 80%, 脱水机参数为 $Q=62.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=75 \text{ kW}$ 。

该工程采用半地下一体化建设型式, 除芬顿催化氧化工艺单独布置外, 其余水处理构筑物采用组合式布置, 工程总占地面积为 $54\,450 \text{ m}^2$, 厂区预留再生水回用用地面积约为 $3\,500 \text{ m}^2$ 。

4 工程投资及运行成本分析

4.1 投资概算

该工程投资概算约为 7.11 亿元, 其中工程费用为 5.20 亿元。工程费用中土建工程费用约为 2.97 亿元, 投资占比为 57.1%, 设备采购及安装费用为 2.23 亿元, 投资占比为 42.9%。

4.2 运行成本分析

该工程生产运行成本主要为动力费、水费、污泥外运处理费, 以及芬顿、膜清洗、污泥处理等药剂费。

经核算, 工程单位处理成本为 $2.45 \text{ 元}/\text{m}^3$, 其中动力费成本约为 $1.00 \text{ 元}/\text{m}^3$, 药剂费成本为 $0.82 \text{ 元}/\text{m}^3$, 污泥处理费成本为 $0.20 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

5 结论

(1) 该工程采用半地下一体化建设型式, 除芬顿催化氧化工艺单独布置外, 其余水处理构筑物采用组合式布置, 工程总占地面积为 $54\,450 \text{ m}^2$, 厂区预留再生水回用用地面积约为 $3\,500 \text{ m}^2$, 相比传统地上式污水厂大大节省了用地; 同时, 各构筑物间采用渠道或孔洞连接, 节约了工艺流程间水头损失。

(2) 针对印染废水特点和进出水水质情况, 经对中试试验的结果比选分析, 工程设计采用“预处理+调节池+初沉池+AAOA-MBR 生化池+改良型芬顿+高效沉淀池+滤布滤池”的污水处理工艺路线。

(3) 详细介绍了预处理、生物池、MBR、高级氧化处理及污泥处理工艺段主要构筑物设计参数, 为集约化地下式环境友好型工业污水处理厂工程设计提供了参考。

(4) 该工程投资概算约为 7.11 亿元, 单位处理

成本约为 $2.45 \text{ 元}/\text{m}^3$, 投资额度和运行成本在可接受范围之内。

参考文献

- [1] 景新军, 蔡大牛, 李斌, 等. 印染废水深度处理技术进展[J]. 水处理技术, 2022(6): 13-19.
JING X J, CAI D N, LI B, et al. Progress in the deep treatment technology of printing and dyeing wastewater[J]. Technology of Water Treatment, 2022(6): 13-19.
- [2] 冯亚兵, 孙蓉, 朱晓超, 等. 水解酸化-AAO-芬顿氧化工艺在某印染废水处理中的应用[J]. 给水排水, 2022, 48(8): 42-45.
FENG Y B, SUN R, ZHU X C, et al. A project of hydrolysis acidification-AAO-Fenton oxidation technology for treating printing and dyeing wastewater[J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(8): 42-45.
- [3] 陈董根, 钱建华, 江双双. 芬顿三相催化氧化对印染废水的深度处理效果[J]. 中国给水排水, 2022, 38(15): 68-72.
CHEN D G, QIAN J H, JIANG S S. Performance of Fenton three-phase catalytic oxidation process for advanced treatment of dyeing and printing wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(15): 68-72.
- [4] 许晓明, 刘宇心, 闫萍, 等. 以工业废水为主的污水厂准 IV 类水质提标扩建工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18): 60-65.
XU X M, LIU Y X, YAN P, et al. A design case of upgrading and expansion project to meet the quasi-IV class standard in a WWTP with industrial wastewater as its major influent[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(18): 60-65.
- [5] 赵红兵, 陈黎明, 詹键, 等. 水解酸化/改良芬顿技术在印染工业废水处理厂的设计应用[J]. 净水技术, 2023, 42(3): 120-126.
ZHAO H B, CHEN L M, ZHAN J, et al. Design and application of hydrolytic acidification/improved Fenton technology in printing and dyeing WWTP[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(3): 120-126.
- [6] 庄会栋, 洪卫, 张增国, 等. 印染工业园区废水深度处理工程运行效果[J]. 给水排水, 2021, 47(2): 76-79.
ZHUANG H D, HONG W, ZHANG Z G, et al. Running effect of advanced treatment project for wastewater from a printing and dyeing industrial park[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(2): 76-79.