

林宝春,陈学勤. 聚酯废水处理及再生水回用工程实例[J]. 净水技术, 2025, 44(7): 177-183,209.

LIN B C, CHEN X Q. Examples of polyester wastewater treatment and reuse projects [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(7): 177-183, 209.

聚酯废水处理及再生水回用工程实例

林宝春*,陈学勤

(杭州益水环境工程有限公司,浙江杭州 311200)

摘要 【目的】以年产120万t差别化聚酯项目为例,分析了锦州市某化纤企业3 000 m³/d污水站的设计、安装、调试及运行成效。针对废水可生化性差(BOD₅/COD<0.3)、有机物质量浓度高(COD均值为8 000 mg/L)、含难降解芳香族化合物及微量乙醛的特性,构建一套高效稳定的深度处理工艺体系,突破传统生物法对低B/C比废水的处理瓶颈,同时实现污水资源化回用与能源回收的双重目标。【方法】设计采用分质预处理+溶气气浮+均质酸化(提升可生化性)+上流式厌氧污泥床反应器[UASB,有机负荷为8 kg COD/(m³·d)]+2段缺氧-好氧(AO,强化脱氮除磷)+高效沉淀(化学强化除磷)+纤维转盘微滤+臭氧催化氧化(降解难溶有机物)+超滤反渗透(保障回用水质)工艺,并对主要构筑物核心设计参数进行系统介绍。【结果】经系统处理后出水COD质量浓度小于30 mg/L,氨氮、总磷等各项出水指标均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准;同时,出水满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅳ类标准,COD去除率可达99%,出水80%以上回用,处理成本为2.63元/m³。【结论】该污水处理工艺在实际应用中表现良好,能有效处理化纤企业产生的高浓度、难降解废水,具有处理效率高、运行稳定、抗冲击负荷强、运行费用省等优点,可为同类污水站提标改造或扩建设计提供指导和借鉴。

关键词 聚酯废水 上流式厌氧污泥床反应器(UASB) 两段AO工艺 纤维转盘微滤 臭氧催化氧化

中图分类号: TU992 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2025)07-0177-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.07.021

Examples of Polyester Wastewater Treatment and Reuse Projects

LIN Baochun*, CHEN Xueqin

(Hangzhou Yishui Environmental Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311200, China)

Abstract [Objective] Taking a 1.2 million ton per year differentiated polyester project as an example, this paper analyzes the design, installation, commissioning, and operational effectiveness of a 3 000 m³/d wastewater treatment plant (WWTP) at a chemical fiber enterprise in Jinzhou City. Aiming at the characteristics of the wastewater [poor biodegradability (BOD₅/COD < 0.3)], high organic matter concentration (average COD mass concentration is 8 000 mg/L), and containing refractory aromatic compounds and trace acetaldehyde (a highly efficient and stable advanced treatment process system is constructed to overcome the limitations of traditional biological method for low BOD₅ to COD ratio wastewater while achieving dual goals of wastewater resource reuse and energy recovery. [Methods] The designed adopts classified pretreatment + dissolved air flotation + homogenization acidification (enhancing biodegradability) + upflow anaerobic sludge blanket reactor [UASB, organic loading is 8 kg COD/(m³·d)] + two-stage anoxic-oxic (AO, strengthening nitrogen and phosphorus removal) + high-efficiency sedimentation (chemically enhanced phosphorus removal) + fiber disk micro-filtration + ozone catalytic oxidation (degrading refractory organics) + ultrafiltration and reverse osmosis (ensuring reuse water quality). Key design parameters of major structures are systematically introduced. [Results] Operational result demonstrates that the effluent COD concentration is consistently below 30 mg/L. All effluent indices (including ammonia nitrogen and total phosphorus) surpass the Grade A standards of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). Simultaneously, the effluent meets Class IV criteria of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002). COD removal efficiency reaches 99%, with over 80% of the effluent reused, at a treatment cost of 2.63 yuan/m³.

[收稿日期] 2025-01-02

[通信作者] 林宝春(1977—),研究方向为废水处理与环境污染治理技术等,E-mail:1500864644@qq.com.

[**Conclusion**] This wastewater treatment process performs effectively in practical applications, efficiently treating high-concentration, refractory wastewater from chemical fiber enterprises. It exhibits advantages including high treatment efficiency, operational stability, strong resistance to shock loads, and cost-effectiveness, providing valuable guidance for upgrading or expanding similar WWTPs.

Keywords polyester wastewater upflow anaerobic sludge blanket reactor(UASB) two-stage AO process fiber disk MF ozone catalytic oxidation

此项目以精对苯二甲酸和乙二醇为原料,以三醋酸锑为催化剂,经连续酯化、连续缩聚工艺生产聚酯,主要由浆料配制、酯化、缩聚、冷凝等几个工序组成。其主要反应有酯化反应和缩聚反应及副反应,酯化反应中的主要副反应为乙二醇缩合成二乙二醇、乙二醇分解成乙醛^[1]。

聚酯生产过程中,主要污染物为物料发生物理、化学反应中所产生的:一是酯化反应中生成的副产物水和乙醛;二是聚缩过程中生成的乙二醇及热解副产物乙醛^[2]。

1 工程概况

锦州市某化纤有限公司规划年产 120 万 t 差别化聚酯项目,按照统一规划、分期实施的原则,为避免环境污染,按照当地有关环境管理政策要求,在厂内新建 1 套废水处理及回用设施。对现已投产 40 万 t 聚酯项目厂区内生产和生活过程中产生的废水进行集中治理,主体工艺采用分质预处理+溶气气浮+均质酸化+上流式厌氧污泥床反应器(UASB)+两段缺氧-好氧(AO)+高效沉淀+纤维转盘微滤+臭氧催化氧化+超滤反渗透。设计处理水量为 3 000 m³/d。排放水标准执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,出水同时满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的 IV 类标准和《工业循环冷却水处理设计规范》(GB 50050—2007)间冷开式系统循环冷却水指标,出水经深度处理后 80%以上作为厂区循环冷却水用水。

2 主要废水来源和特性分析

2.1 高浓度聚酯废水

废水中主要成分为乙二醇, COD 浓度高,生化性差。废水日均产生量为 300 t,废水中 COD 质量浓度为 25 000~30 000 mg/L, BOD₅ 质量浓度约为 8 000 mg/L, pH 值为 3.5~5.5, 溶解性总固体(TDS)为 4 000~5 000 mg/L。气提后容易挥发的有机物挥发了,废水气提处理后 COD 质量浓度为 8 000 mg/L, BOD₅ 质量浓度为 2 400 mg/L。

2.2 低浓度废水

低浓度废水包括聚酯装置预缩聚过滤器滤芯的清洗废水、直纺涤纶短纤维装置组件的清洗废水、纺丝废水等,其他生产装置和热媒站罐区清洗、车间地面冲洗等^[3],这部分废水日均产生量为 250 t,废水中指标 COD 质量浓度为 600~800 mg/L, BOD₅ 质量浓度为 200~300 mg/L, pH 值为 5~8, TDS 为 1 000~1 500 mg/L。

2.3 清洁污水

本项目产生清洁污水包括循环冷却水排污水、燃煤热媒炉沉渣污水等,主要污染物中 COD 质量浓度为 80 mg/L, pH 值为 6~9。

2.4 废水特性分析

高浓度聚酯废水中主要污染物为乙二醇和二乙二醇、甲醇、乙醛、乙酸、二甘醇及三甘醇等污染物。由于采用了气提装置,容易生化降解的醇类、醛类有机物被提出,废水中有机物减少,但是可生化性降低, BOD₅/COD<0.3,生化难度增加。同时由于气提中增加了废水温度,夏天废水温度处理可以达到 65℃以上。

低浓度废水主要来自聚酯车间滤芯清洗和纺丝工艺,有机物浓度相对较低,但可生化效果低,同时滤芯清洗废水中含有少量碳黑颗粒,纺丝废水中含有大量的浮油,如二者不作预处理,将会对废水的生化处理形成很大的影响。聚酯及纺丝废水污染物组分相对单一,缺少微生物处理所必要的各类营养物质^[4]。因此,该工程将企业生活废水引入一并进行处理。

3 设计规模及进出水水质

3.1 设计规模

该污水处理站一期处理规模为 3 000 m³/d,预留二期处理用地,处理设施 24 h 连续运转。废水进水水质、水量如表 1 所示。

3.2 设计出水水质

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,同时,出水符合

《工业循环冷却水处理设计规范》(GB 50050—2017)

间冷开式系统循环冷却水指标,如表 2 和表 3 所示。

表 1 废水进水水质、水量

Tab. 1 Influent Quality and Quantity of Wastewater

项目	高浓度聚酯废水	低浓度废水	清洁污水
水量/(m ³ ·d ⁻¹)	300	250	2 450
pH 值	3.5~5.5	5.0~8.0	6.0~9.0
TN/(mg·L ⁻¹)	≤45	≤50	≤50
氨氮/(mg·L ⁻¹)	≤35	≤35	≤35
TP/(mg·L ⁻¹)	≤20	≤30	≤30
COD/(mg·L ⁻¹)	≤8 000	600~800	≤80
SS/(mg·L ⁻¹)	≤10	300~500	100~160
TDS/(mg·L ⁻¹)	4 000~5 000	1 000~1 500	300~500

表 2 设计出水水质指标

Tab. 2 Indices of Design Effluent Quality

水质指标	外排水	一级 A 标准	地表水 IV 类标准
pH 值	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0
COD/(mg·L ⁻¹)	≤30	50	≤30
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	≤6	10	≤6
氨氮/(mg·L ⁻¹)	≤1.5	5.0	≤1.5
TN/(mg·L ⁻¹)	≤1.5	15.0	≤1.5
TP/(mg·L ⁻¹)	≤0.3	1.0	≤0.3
SS/(mg·L ⁻¹)	≤10	10	-

表 3 间冷开式系统循环冷却水水质指标

Tab. 3 Water Quality Indices for Circulating Cooling Water in Open Cooling System

项目	pH 值	COD/ (mg·L ⁻¹)	氯离子/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	钙硬度/ (mg·L ⁻¹)	石油类/ (mg·L ⁻¹)	TDS/ (mg·L ⁻¹)
GB 50050—2017 中的要求	6.8~9.5	≤100	≤700	≤10	≤5	≤5	≤50

4 废水处理工艺选择

4.1 分质预处理工艺

对高浓度聚酯废水和低浓度废水进行分质分流,低浓度废水中含有油类污染物,分质后进入到低浓度废水调节池,池内设不锈钢微孔曝气管,均质均量。调节池出水提升至平流气浮机,加药破乳混凝后,去除水中油剂和 SS 等杂质^[5],COD 去除率为 50%左右。

4.2 生化处理工艺

该工程生化处理采用 UASB 厌氧反应器和两段 AO 工艺相结合的处理模式^[6]。厌氧生物处理多用于高浓度有机废水和难降解有机废水的处理,厌氧处理还可产生可供利用的能量(产甲烷),每去除 1 kg COD 约可生产 1.37×10⁴ kJ 能量;污泥产量极低,产量仅为 20~180 g VSS/(kg COD)(去除)。处理高浓度有机废水时,厌氧处理工艺有其不可替代的作用,实践证明其处理效率高、COD 去除率为 80%以上,运行稳定^[7]。

“两段 AO”处理工艺结合了接触氧化工艺与活性污泥工艺双重优点,该工艺具有运行成本低、占地面积小、管理强度低、脱氮除磷率高、抗冲击负荷能力强、减少污泥膨胀和有利于实现短程硝

化反硝化和同步消化反硝化等特点。通过优化污泥回流比和污泥龄,可以减少污泥的产生量 and 处理成本。

4.3 回用处理工艺

回用处理采用纤维转盘过滤+臭氧催化氧化+多介质过滤+精密过滤+超滤反渗透(RO)工艺,能有效去除水中有机物质、SS、硬度、浑浊度、氯离子、杀菌除藻。系统运行安全可靠,出水水质稳定,满足循环回用水要求。RO 浓水经臭氧催化氧化处理后直接纳管外排^[8]。

4.4 污泥处理工艺

利用剩余污泥反硝化,将沉淀池的生化污泥通过泵大部分回流至缺氧池,以调节污泥浓度;小部分提升至均质酸化池,用以稳定污泥浓度,提高酸化效果,改善废水性质。气浮污泥和生化池剩余污泥则直接进入污泥浓缩池。污泥经浓缩、加药调理后,通过气动隔膜泵打入隔膜压滤机进行压榨处理,泥饼含水率低于 65%,泥饼委托有资质单位外运资源化处置。过滤出水自流至高浓度废水调节池,重新进入处理系统进行处理。

4.5 废水处理工艺流程

废水处理工艺流程如图 1 所示。

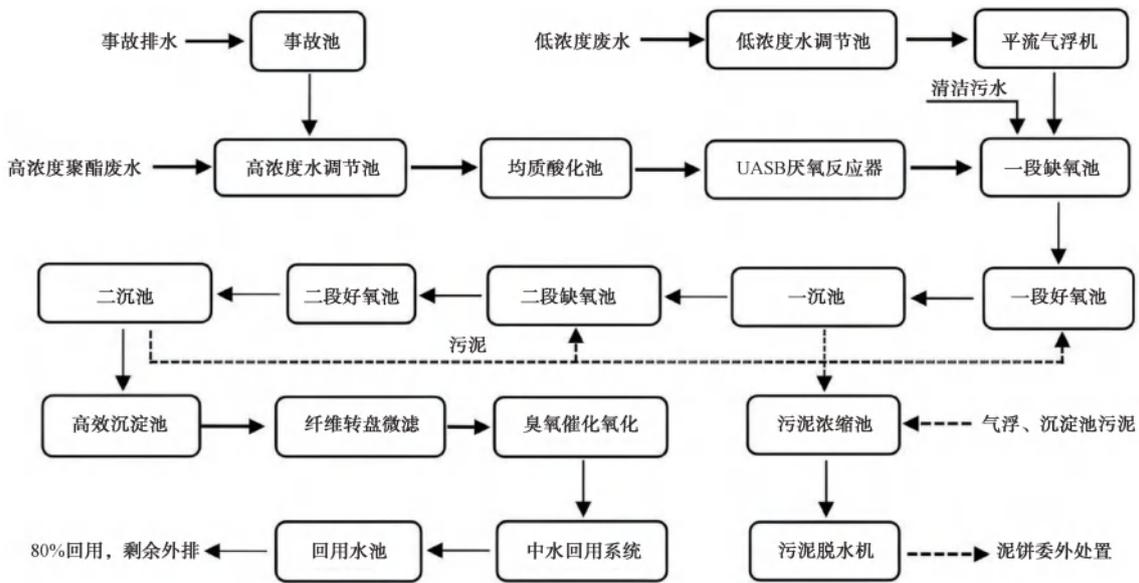


图1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Wastewater Treatment

5 主要构筑物设计、运行参数

(1) 事故池。主要贮存事故排水、部分气提废水。尺寸为 $38.0\text{ m} \times 7.0\text{ m} \times 3.7\text{ m}$, 地下钢砼, 有效容积为 870 m^3 , 与高、低浓度废水调节池、清洁污水调节池合建。配备事故池提升泵 2 台 (1 用 1 备), 型号为: 50FSZ-K-25-18, 流量为 $25\text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 (H) 为 18 m 。

(2) 高浓度废水调节池。用于收集高浓度聚酯废水, 设微孔管曝气散热。废水均质均量。尺寸为 $19.0\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 6.5\text{ m}$, 半地上式钢砼, 有效容积为 570 m^3 , 水力停留时间为 24 h 。配备罗茨风机 2 台 (1 用 1 备), 型号为 FTB-80, 风量为 $2.26\text{ m}^3/\text{min}$, 转速为 $1\ 100\text{ r}/\text{min}$, H 为 7.0 m , 功率为 5.5 kW 。污水提升泵 2 台 (1 用 1 备), 50FSZ-K-25-18, 流量为 $25\text{ m}^3/\text{h}$, H 为 18 m 。

(3) 低浓度废水调节池。收集低浓度废水, 设 DN40 不锈钢微孔管曝气, 均质均量, 半地上式钢砼, 尺寸为 $20.0\text{ m} \times 6.0\text{ m} \times 6.5\text{ m}$, 有效容积为 720 m^3 , 水力停留时间为 7 h , 风机与高浓度调节池合用, 风量为 $2.26\text{ m}^3/\text{min}$ 。进口安装 304 不锈钢格栅 $10, 5\text{ mm}$ 各 1 套。配备提升泵 2 台 (1 用 1 备), 型号为 100FSZ-K-80-15, 流量为 $100\text{ m}^3/\text{h}$, H 为 15 m 。

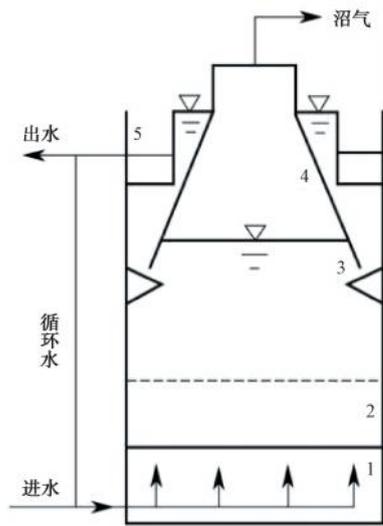
(4) 平流气浮机。对含乳化油废水破乳, 去除部分有机物及杂质等。型号为 MST-F30, 沪东麦斯特; 设备尺寸为 $6.0\text{ m} \times 2.0\text{ m} \times 2.4\text{ m}$, 304 材质。配套反应搅拌、溶气装置、刮渣机、加药及电控系统。

主要投加聚合氯化铝 (PAC) 和聚丙烯酰胺 (PAM), PAC 投加量为 $200\text{ mg}/\text{L}$, PAM 投加量为 $4\text{ mg}/\text{L}$ 。

(5) 均质酸化池。调节聚酯废水的 pH, pH 值为 $5.5 \sim 6.5$, 半地上式钢砼。池内配备 2 台潜水搅拌机 and 1 套 NaOH 自动加药装置, 自动控制 NaOH 投加量, NaOH 投加量为 $300\text{ mg}/\text{L}$ 。尺寸为 $6.0\text{ m} \times 6.0\text{ m} \times 4.5\text{ m}$, 有效容积为 144 m^3 , 水力停留时间为 11.5 h 。配备污水提升泵 2 台 (1 用 1 备), 50FSZ-K-25-18, 流量为 $25\text{ m}^3/\text{h}$, H 为 18 m 。

(6) UASB 厌氧反应器。UASB 厌氧反应器采用中温消化, 温度控制为 $35 \sim 38\text{ }^\circ\text{C}$ 。直径 φ 为 $9.0\text{ m} \times 11.0\text{ m}$, 碳钢防腐, 2 组并联, 有效水深为 10.5 m , 总有效容积为 $1\ 335\text{ m}^3$, 水力停留时间为 107 h 。反应器内壁及内部碳钢组件 3 布 5 油玻璃丝布防腐, 外壁设置玻璃棉保温层, 厚度为 80 mm , 银灰彩钢瓦, 罐顶采用 10 mm 厚玻璃钢加盖, 池顶 500 mm 泥水接触面采用 304 材质; 组合填料体积为 380 m^3 ; pH 仪及温度在线仪表, 各 1 套; 三相分离器、布水系统、蒸汽管道、出水堰、水封罐为 304 材质, 沼气经收集输送到厂区热煤站焚烧, UASB 厌氧反应器结构如图 2 所示。

(7) 一段 AO 池。半地上钢砼, 尺寸为 $32.0\text{ m} \times 16.0\text{ m} \times 6.0\text{ m}$, 有效容积为 $2\ 816\text{ m}^3$ 。一段缺氧池和好氧池停留时间分别为 5.6 h 和 16.9 h , 缺氧池内置液下推流搅拌器 4 台, 7.5 kW , 304 材质。好氧



注:1—进水;2—填料层;3—三相分离器;4—集气罩;5—出水堰。

图2 UASB厌氧反应器结构

Fig. 2 Structure of UASB Anaerobic Reactor

池采用接触氧化法工艺,配备空气悬浮风机2台(1用1备),河北金士顿,JSD/GF40,压力为0.8 MPa,流量为22 m³/min,轴功率为30 kW,整机功率为37 kW,较罗茨风机节能25%~30%。微孔曝气盘,型号为φ215 mm,EPDM膜片,数量为1500套。组合填料尺寸为φ150 mm×80 mm,高3 m,容积为1036 m³。填料支架:聚乙烯(PE)软绳。污泥负荷为0.1 kg BOD₅/[(kg MLSS)·d],污泥质量浓度为3 g/L,混合液回流比为150%,污泥回流比为100%。

(8)一沉池。活性污泥泥水分离单元,平流沉淀模式,污泥回流到A池,采用气动阀,可编程控制器(PLC)自动回流装置。半地上钢砼,尺寸为16.0 m×5.0 m×6.0 m,有效水深为5.5 m,表面水力负荷为1.56 m³/(m²·h)。配备回流泵2台,流量为200 m³/h,H为20 m,剩余污泥排至污泥浓缩池。

(9)二段AO池。半地上钢砼,尺寸为23.0 m×16.0 m×6.0 m,有效容积为2024 m³。二段缺氧池和好氧池停留时间分别为3.5 h和12.7 h,缺氧池内置潜水推流搅拌器2台,7.5 kW,304材质。好氧池采用活性污泥法工艺,空气悬浮风机与一段AO池共用。微孔曝气盘,型号为φ215 mm,三元乙丙橡胶(EPDM)膜片,数量为1100套。泥负荷为0.2 kg BOD₅/[(kg MLSS)·d],污泥质量浓度为5 g/L,混合液回流比为150%,污泥回流比为100%。

(10)二沉池。活性污泥泥水分离单元,斜管沉

淀模式,污泥回流到A池,采用气动阀,PLC自动回流装置。半地上钢砼,尺寸为16.0 m×9.0 m×6.0 m,有效水深为5.5 m,表面水力负荷为0.87 m³/(m²·h),斜管φ为50 mm,面积为128 m²。配备污泥回流泵2台,流量为200 m³/h,H为20 m,剩余污泥排至污泥浓缩池。

(11)高效沉淀池。混凝反应,去除水中部分悬浮物和胶体物质,半地上钢砼,尺寸为16.0 m×9.0 m×6.0 m,沉淀区设置斜管,表面水力负荷为0.87 m³/(m²·h)。混合池和絮凝池反应时间分别为3 min和17 min。PAC投加量为16 mg/L,PAM投加量为0.67 mg/L,配备刮泥机1台,污泥泵2台(1用1备),流量为150 m³/h,H为20 m,PLC自动排泥。

(12)纤维转盘微滤机。对污水进行精细过滤,去除SS,COD、BOD₅和TP。设备尺寸为3.1 m×2.6 m×3.0 m,304材质,1套,处理能力为125 m³/h,包括原水接收装置、中心进水配水装置、滤盘、驱动装置、反冲洗装置(含反冲洗水泵和喷淋系统)、排泥系统、液位槽和配套的液位仪表及控制系统组成。驱动电机功率为0.75 kW,反洗水泵功率为2.2 kW,清洗时,过滤转盘转速为0.5~1.0 r/min,反冲洗间隔2 h,每个滤盘冲洗时间为1~2 min,整个过程PLC控制。

(13)臭氧催化氧化。主要用于系统出水指标超标和反渗透浓水臭氧催化氧化^[9]。臭氧催化氧化塔尺寸为φ3.0 m×10.0 m,1座,填料高度为2.7 m,铁基催化剂体积为15 m³,塔体为316 L材质。采用氧气源,臭氧产量为20 kg O₃/h,质量浓度为120~150 mg/L。臭氧气体通过φ150 mm钛盘曝气,与氧化塔内的水接触反应,反应时间为30 min。臭氧投加量为120 mg/L。为保证臭氧氧化塔内外的压力平衡,氧化塔顶设计双向透气安全阀。尾气收集后进入尾气破坏器,经臭氧尾气破坏装置的出口臭氧质量浓度小于0.1 mg/L,直接排放到大气中。

(14)回用处理系统。去除水中的SS、胶体、氯离子、硬度、浑浊度等,主要由多介质过滤器、膜架及组件、水泵、加药、化学清洗以及相关水池构成。平面尺寸为18.0 m×12.0 m,设置1套多介质过滤器、1套超滤和反渗透装置;处理能力为100 m³/h,超滤装置回收率为90%~95%,采用聚偏二氟乙烯(PVDF)膜,由50支膜元件构成;RO装置回收率为70%~75%,采用芳香族聚酰胺系复合膜,由70支膜

元件构成;装置脱盐率 $\geq 97\%$,RO浓水经臭氧催化氧化处理后纳管外排^[10]。

(15)污泥脱水间/加药间。平面尺寸为20.0 m \times 12.0 m,地上框架结构。主要放置隔膜压滤机、加药装置、药剂、空压系统、相关电控等。配备隔膜压滤机1台,泥饼输送机1台,压榨系统1套,气动隔膜泵2台(1用1备),冲洗水泵1台,山东景津,过滤面积为200 m²,型号为XMZGP200/1250-U,进料压力 ≤ 8 kg,鼓膜压力 ≤ 1 kg,自动拉板,额定功率为12 kW。

6 工艺调试

工程于2023年3月底安装完成,4月初进入到联动调试阶段,调试周期为3个月,调试重点主要是各生化段的污泥接种、培养、驯化和各物化反应阶段的药剂量调控。

UASB厌氧罐接种厌氧颗粒污泥后,逐步提高负荷,直至达到设计水量,调试期间,严格控制厌氧罐进水pH和温度,反应罐内pH值控制为7.2~8.0,pH值低于6.5时,加片碱调整,防止出现酸化现象,温度控制为35~38℃,以维持微生物的适宜生长环境,稳定运行后UASB出水COD质量浓度为960 mg/L左右,pH值为7.0~7.5。

一级AO和二级AO接种了该园区污水处理厂脱水活性污泥,缺氧池溶解氧质量浓度控制为0.2~0.5 mg/L。好氧池溶解氧质量浓度控制为4.5 mg/L,挂膜效果良好,一级AO稳定运行后出水COD质量浓度为120 mg/L左右。二级AO在调试前期,好氧池出水中含有细小的悬浮物,难以沉降,出水浑浊,主要是由于负荷低、溶解氧过高导致,经调整曝气量,溶解氧质量浓度为3.5~4.0 mg/L,污泥沉降比(SV₃₀)控制在15%左右,污泥沉降快,出水清澈,二

级AO出水COD质量浓度为50 mg/L左右。

气浮预处理和高效沉淀池混凝反应药剂投加根据沉淀效果和COD去除变化,反复试验后确定最佳药剂投加量。气浮预处理主要投加PAC和PAM,PAC投加量为200 mg/L,PAM投加量为4 mg/L。高效沉淀池出水COD质量浓度为30 mg/L左右,纤维转盘微滤机出水COD质量浓度为20 mg/L左右。

超滤产水率达95%,产水浑浊度小于0.2 NTU,污染密度指数(SDI)小于3,SS去除率为100%;反渗透产水率为75%,单只膜脱盐率达99%,装置脱盐率达97%以上。目前,因纤维转盘微滤机出水COD稳定保持在较低水平,考虑到运行成本,臭氧催化氧化主要用于RO浓水处理,满足外排水要求。

7 运行效果

该污水处理站自2023年9月正式投入运行以来,根据实验室连续检测数据和第三方在线监测结果显示良好的处理效果。据季节变化,生产波动等外部因素,及时调整工艺运行参数,通过不断优化和强化日常操作管理,该污水站对聚酯废水COD质量浓度基本保持为30 mg/L以下,去除率达到了99%,TN质量浓度低于0.7 mg/L,去除率为98%,TP质量浓度低于0.05 mg/L,去除率为99.8%,氨氮质量浓度低于0.04 mg/L,去除率为99.9%,TDS质量浓度低于50 mg/L,脱盐率达97%以上,出水各项主要指标均满足GB 3838—2002中地表水Ⅳ类标准,且优于排放标准GB 18918—2002一级A标准,符合《工业循环冷却水处理设计规范》(GB 50050—2017)间冷开式系统循环冷却水指标,出水80%以上回用,有效缓解了企业用水压力。各处理单元平均出水水质如表4所示。

表4 各处理单元出水水质
Tab.4 Effluent Quality of Each Treatment Unit

处理单元	pH值	COD/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TDS/ (mg·L ⁻¹)
高浓度废水调节池	3.5~5.5	7 000~8 000	≤ 35.00	≤ 45.00	≤ 20	≤ 10	4 500
低浓度废水调节池	5.0~8.0	600~800	≤ 35.00	≤ 50.00	≤ 30	≤ 500	1 250
低浓度废水气浮机	7.0~8.0	350	30.00	-	10	≤ 70	-
均质酸化池	5.0~7.0	6 400	20.00	-	-	-	-
UASB厌氧反应器	7.2~7.8	960	2.00	45.00	7	-	-
一段缺氧池	6.8~7.5	480	1.20	25.00	1.050	-	-

(续表4)

处理单元	pH 值	COD/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TDS/ (mg·L ⁻¹)
一段好氧池/一沉池	6.8~7.5	120	0.36	14.50	-	-	-
二段缺氧池	6.8~7.5	90	0.22	1.45	0.320	-	-
二段好氧池/二沉池	7.5	50	0.04	0.73	0.096	-	-
高效沉淀池	7.5	30	-	-	0.060	-	-
纤维转盘微滤机	7.5	20	0.03	0.67	0.040	≤8	-
臭氧催化氧化	7.5	15	-	-	-	-	-
RO 膜处理单元	7.2	-	-	-	-	-	≤50
GB 18918—2002 一级 A 标准	6.0~9.0	50	5.00	15.00	1	≤8	-
GB 3838—2002 地表水 V 类标准	6.0~9.0	40	2.00	2.00	0.4	-	-

8 工程投资及运行成本

污水站区占地面积为 3 360 m²,工程总投资为 1 005 万元,其中土建费用为 510 万元,废水处理设备和服务费用为 495 万元,污水站实际运行费用为 2.63 元/m³,其中人工费为 0.28 元/m³、药剂费为 0.77 元/m³、电费为 1.53 元/m³,污泥处理费为 0.05 元/m³(本计算未考虑废水排放减少的排污费用和回用节省自来水费用)。

9 结论

(1) 针对聚酯废水可生化性差、污染物种类复杂等特点,采用分质预处理+溶气气浮+均质酸化+UASB 厌氧反应+两段 AO+高效沉淀+纤维转盘微滤+臭氧催化氧化+超滤反渗透的工艺,处理后外排水水质优于 GB 18918—2002 中的一级 A 标准。

(2) 工程实践证明,该工艺处理聚酯化纤行业废水,处理效率高,抗水质波动性强、运行稳定等优势,COD 去除率可达 99%,出水 80%以上回用于车间生产,对类似项目的新建、技改、提标等具有较好的借鉴指导作用。

参考文献

[1] 李国庆,孙爱国,王先锋,等.某盐化工业园废水处理工程设计实例[J].工业用水与废水,2024,55(2):81-85.
LI G Q, SUN A G, WANG X F, et al. Design of wastewater treatment engineering in a salt chemical industrial park [J]. Industrial Water & Wastewater, 2024, 55(2): 81-85.

[2] 罗静.酯化废水处理技术分析和应用[J].化工管理,2019(20):126-126.
LUO J. Technical analysis and application of esterification wastewater treatment [J]. Chemical Engineering Management, 2019(20): 126-126.
[3] 张天骏.纺丝油剂废水的处理工艺[J].科技资讯,2020,18(24):92-94.
ZHANG T J. Treatment technology of spinning oil wastewater [J]. Science & Technology Information, 2020, 18(24): 92-94.
[4] 张颖.高浓度化纤油剂废水处理工艺研究[J].皮革制作与环保科技,2022,3(1):121-123.
ZHANG Y. Research on treatment of high concentration chemical fiber oil wastewater [J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2022, 3(1): 121-123.
[5] 刘立,刘志鹏,王蓉莉.化纤废水处理技术及工艺研究[J].大众标准化,2022(3):171-172.
LIU L, LIU Z P, WANG R L. Technical and process research on fiber wastewater treatment [J]. Popular Standardization, 2022(3): 171-172.
[6] 朱艳臣,黄珠慧,王久龙,等.水解酸化+外循环 UASB 工艺在化纤废水处理中的应用[J].水处理技术,2023,49(8):153-156.
ZHU Y C, HUANG Z H, WANG J L, et al. Application of hydrolytic acidification + external circulation UASB process in chemical fiber wastewater treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2023, 49(8): 153-156.
[7] 姚伟英,白赞章,陈越,等.化纤废水处理工程深度提标改造及成效分析[J].水处理技术,2024,50(8):153-156.
YAO W Y, BAI Z Z, CHEN Y, et al. Deeply upgrading and effect analysis of chemical fiber wastewater treatment project [J]. Technology of Water Treatment, 2024, 50(8): 153-156.

(下转第 209 页)

- 40(6): 37-43.
- LI R, JIA X Z, HU J K, et al. Analysis on origin and change of odor substances of water body in Yuqiao Reservoir of Tianjin[J]. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), 2020, 40(6): 37-43.
- [8] 李维唯, 郭康宁, 刘莉文, 等. 若干水华相关藻类对太湖水体异味物质贡献的初步研究[J]. 湖泊科学, 2018, 30(4): 916-924.
- LI W W, GUO K N, LIU L W, et al. Relationship of odor compounds to some algal strains associated with bloom in Lake Taihu[J]. Journal of Lake Science, 2018, 30(4): 916-924.
- [9] 胡怡玲, 杨忠勇, 杨京, 等. 水流扰动环境中微囊藻群体的生长及成团过程分析[J]. 中国环境科学, 2025, 45(6): 3280-3288.
- HU Y L, YANG Z Y, YANG J, et al. Analysis of growth and aggregation processes of microcystis colonies in flow disturbed environments[J]. China Environmental Science, 2025, 45(6): 3280-3288.
- [10] 朱伟, 陈怀民, 肖曼, 等. 风生紊流导致微囊藻群体破碎和形态变化[J]. 湖泊科学, 2021, 33(2): 349-365, 647.
- ZHU W, CHEN H M, XIAO M, et al. Wind induced turbulence caused colony disaggregation and morphological changes in the cyanobacterium microcystis[J]. Journal of Lake Science, 2021, 33(2): 349-365, 647.
- [11] HUGNG X, HUGNG Z, CHEN X, et al. The predominant phytoplankton of *Pseudoanabaena* holding specific biosynthesis gene-derived occurrence of 2-MIB in a drinking water reservoir [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(19): 19134-19142.
- [12] KAKIMOTO M, ISHIKAWA T, MIYAGI A, et al. Culture temperature affects gene expression and metabolic pathways in the 2-methylisoborneol-producing cyanobacterium *Pseudoanabaena galeata* [J]. Journal Plant Physiology, 2014, 171: 292-300. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.09.005.
- [13] WANG Z J, SONG G F, SHAO J H, et al. Establishment and field applications of real-time PCR methods for the quantification of potential MIB-producing cyanobacteria in aquatic systems[J]. Journal of Applied Phycology, 2016, 28: 325-333. DOI: 10.1007/s10811-015-0529-1.
- [14] 苏晓, 韩正双, 张楠, 等. 天津某水库 2-MIB 季节性变化规律及来源分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(19): 39-45.
- SU X, HAN Z S, ZHANG N, et al. Seasonal variation rule and source analysis of 2-MIB in a reservoir of Tianjin [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(19): 39-45.
- [15] 罗璋. 蓝藻在化感作用下致嗅物的代谢释放机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- LUO Z. Metabolism-release mechanism of cyanobacteria under allelopathic effect[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [16] WANG Z, LI R. Effects of light and temperature on the odor production of 2-methylisoborneol-producing *Pseudoanabaena* sp. and geosmin-producing *Anabaena ucrainica* (cyanobacteria) [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2015, 58: 219-226. DOI: 10.1016/j.bse.2014.12.013.
- [17] GAO J S, ZHU J, WANG M W, et al. Dominance and growth factors of *Pseudoanabaena* sp. in drinking water source reservoirs, Southern China [J]. Sustainability, 2018, 10(11): 1-15.
- [18] TUNG S C, LIN T F, YANG F C, et al. Seasonal change and correlation with environmental parameters for 2-MIB in Feng-Shen Reservoir, Taiwan [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 145: 407-416. DOI: 10.1007/s10661-007-0049-9.
- [19] 陈晓萌. 上海 H 水厂二甲基异茨醇和土臭素年变化规律及其影响因素探索[J]. 净水技术, 2022, 41(s2): 1-7, 41.
- CHEN X M. Exploration on the annual variation laws and influencing factors of 2-methylisoborneol and geosmin in WTP H of Shanghai[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(s2): 1-7, 41.

(上接第 183 页)

- [8] 庄琪, 栾超, 马强. 反渗透浓水回收利用的探索研究[J]. 辽宁化工, 2020, 46(10): 65-71.
- ZHUANG Q, LUAN C, MA Q. Research on recycling and utilization of reverse osmosis concentrate [J]. Liaoning Chemical Industry, 2020, 46(10): 65-71.
- [9] 何灿, 黄祁, 何文丽, 等. 臭氧催化氧化深度处理焦化废水的研究及应用[J]. 给水排水, 2020, 46(10): 65-71.
- HE C, HUANG Q, HE W L, et al. Study on ozone catalytic oxidation in advanced treatment of coking wastewater and its application [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10): 65-71.
- [10] 王金龙. 双膜法中水厂反渗透系统运行分析[J]. 净水技术, 2024, 43(1): 95-100, 109.
- WANG J L. Summary of experience in reverse osmosis operation of sewage source UF-RO process WTPs [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(1): 95-100, 109.