

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.08.018

预处理/UASB/水解酸化/MBR工艺处理中药废水

钟志君¹, 朱孟建², 甘玲¹, 周亮¹, 谢剑南¹, 张耀辉¹,
沈孝辉¹, 翟佳¹

(1. 江苏省环境工程技术有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 江苏康缘药业股份有限公司,
江苏 连云港 222000)

摘要: 针对江苏康缘药业股份有限公司生产废水COD、悬浮物浓度高以及悬浮物密度小、沉降性差等特点,采用预处理/UASB/水解酸化/MBR的组合工艺进行处理。介绍了该工程的工艺流程和技术特点,给出了主要构筑物的设计参数和实际运行数据。工程实践表明,该组合工艺可高效去除废水中污染物,各处理单元实际处理效率总体符合预期,出水水质稳定达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)表1中A级标准。该组合工艺在克服用地紧张的情况下保证了处理效果,具有一定的借鉴价值。

关键词: 中药废水; 预处理; UASB; 水解酸化; MBR

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)08-0109-05

Treatment of Chinese Pharmaceutical Wastewater by Process of Pretreatment, UASB, Hydrolysis Acidification and MBR

ZHONG Zhi-jun¹, ZHU Meng-jian², GAN Ling¹, ZHOU Liang¹, XIE Jian-nan¹,
ZHANG Yao-hui¹, SHEN Xiao-hui¹, ZHAI Jia¹

(1. Jiangsu Provincial Environmental Engineering Technology Co. Ltd., Nanjing 210000, China;
2. Jiangsu Kanion Pharmaceutical Co. Ltd., Lianyungang 222000, China)

Abstract: The combined process of pretreatment, UASB, hydrolysis acidification and MBR is adopted to treat the wastewater in Jiangsu Kanion Pharmaceutical Co., Ltd. with the characteristics of high concentrations of COD and suspended solids, low density of suspended solids and poor sedimentation. The treatment process, technical characteristics, design parameters of the main units and the actual operation of the project are introduced. Practice shows that the combined process can remove pollutants in the wastewater efficiently, the actual treatment efficiency of each unit is generally in line with expectations, and the effluent quality can meet the level A criteria in table 1 of the *Wastewater Quality Standards for Discharge to Municipal Sewers* (GB/T 31962-2015) stably. The combined process ensures the treatment effect while overcoming the site constraints, which has certain reference value.

Key words: Chinese pharmaceutical wastewater; pretreatment; UASB; hydrolysis acidification; MBR

中药废水主要来自药材清洗水、设备清洗水、浓缩冷凝液、洗罐废水、地坪冲洗水以及碱水煮泡液

通信作者: 甘玲 E-mail: ganlinggl@163.com

等,其主要污染物为有机物、悬浮物、色度、氨氮等,主要成分为糖类、木质素、蛋白质、色素、纤维素等。该类废水有机污染物浓度高,悬浮物密度较小,难于沉淀的有机物含量高,色度较高,可生化性较好^[1-8]。以江苏康缘药业股份有限公司生产废水处理工程为例,对其处理工艺、主要工艺参数、运行情况、技术经济指标进行介绍。该组合工艺在克服用地面积紧张的情况下达到了预期处理效果。

1 工程概况

该中药企业主要从事片剂、胶囊剂、软胶囊剂、颗粒剂、口服液、糖浆剂、丸剂、合剂、茶剂、煎膏剂、大小容量注射剂、冻干粉针剂的制造、销售,为适应市场发展和提高产能,需对厂区进行升级扩容改建,其中中药口服液提取药材量由 854 t/a 提升为 1 280 t/a,某益肾片提取药材量由 524 t/a 提升为 711 t/a 等。扩建后废水主要为洗药废水、提取废水、废气吸收废水、乙醇回收废水以及少量生活污水,主要污染指标为有机污染物、悬浮物、色度等。该企业一期废水处理站设计规模为 720 m³/d,实际处理能力为 600 m³/d,采用深度水解/接触氧化/混凝/沉淀处理工艺。目前,该废水处理站运行基本稳定,进水 COD 约 6 000 mg/L,出水 COD 基本稳定在 150 mg/L 以下。厂区升级扩建后,水量、水质都有较大变化,新增废水量约 600~800 m³/d,进水 COD 约 12 000 mg/L。鉴于深度水解-接触氧化工艺对高浓度 COD 废水降解能力有限,现有废水处理站在处理规模和工艺上都无法满足扩建后的生产需求,需新建二期废水处理站。新建工程设计废水处理规模为 900 m³/d。

2 设计水质和工艺流程

2.1 设计进、出水水质

根据企业提供的资料,结合项目扩建的需求,借鉴一期工程的运维数据并参考同类工程进水水质,确定本工程设计进水水质。根据《中药类制药工业水污染物排放标准》(GB 21906—2008),企业向设置污水处理厂的城镇排水系统排放废水时,有毒污染物总汞、总砷在本标准规定的监控位置执行相应的排放限值;其他污染物的排放控制要求由企业或城镇污水处理厂根据其污水处理能力商定或执行相关标准,并报当地环境保护主管部门备案。该企业现有废水处理站出水已接管至城镇污水处

理厂,故本次扩建废水处理站出水执行城镇污水处理厂接管标准,执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)表 1 中 A 级标准,同时应企业要求,设计出水 COD 不高于 200 mg/L。设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	设计进水	设计出水	排放标准
COD/(mg·L ⁻¹)	12 000	200	500
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	6 500	80	350
SS/(mg·L ⁻¹)	600	10	400
氨氮/(mg·L ⁻¹)	60	45	45
总氮/(mg·L ⁻¹)	100	70	70
总磷(以 P 计)/(mg·L ⁻¹)	10	8	8
色度/倍	/	64	64
pH	6~9	6~9	6~9

2.2 工艺流程

该企业废水化学成分主要为乙醇、木质素、纤维素、苷类等,其中氨氮和总磷含量较低,有机污染物浓度高。一期废水处理站运维数据显示,该废水具有可生化性良好,悬浮物浓度高、密度小、沉降性差,色度较高等特点。此外,生产废水间歇排放、水质水量变化大。结合废水处理站设计规模较一期增加 25%、占地面积较一期减少 10% 的现状,总体考虑采用预处理/UASB/水解酸化/MBR 的组合处理工艺,其中预处理采用格栅/调节池/混凝沉淀池/中间水池,污泥处理采用污泥浓缩池/污泥调理池/高压板框压滤,污泥含水率达到约 65% 后外运处置。废水处理工艺流程见图 1。

废水经格栅初步去除较大的悬浮物和漂浮物,经泵送至调节池进行均质、均量和 pH 调节,随后进入混凝沉淀池。投加的 PAC 和 PAM 经过机械搅拌与废水充分混合反应。废水经絮凝、混凝反应后,在沉淀池进行固液分离,去除大量 SS 和部分 COD,为后续工段的运行减轻压力。混凝沉淀池上清液流入中间水池,经泵再次提升至 UASB 池,通过厌氧反应去除大部分 COD,产生的沼气收集后送火炬燃烧。UASB 池出水自流至膜格栅过滤后进入水解酸化池,进一步降解废水中的 COD,同时利用水解和产酸菌将部分大分子有机物分解为小分子有机物,以提高废水的可生化性,更适宜后续的好氧处理。水解酸化沉淀池产生的污泥部分回流至 UASB 池,

提高污泥浓度,部分输送至污泥浓缩池。水解酸化沉淀池出水自流至好氧池和MBR膜池进行好氧反应。采用浸没式MBR,维持好氧池较高的微生物浓度。

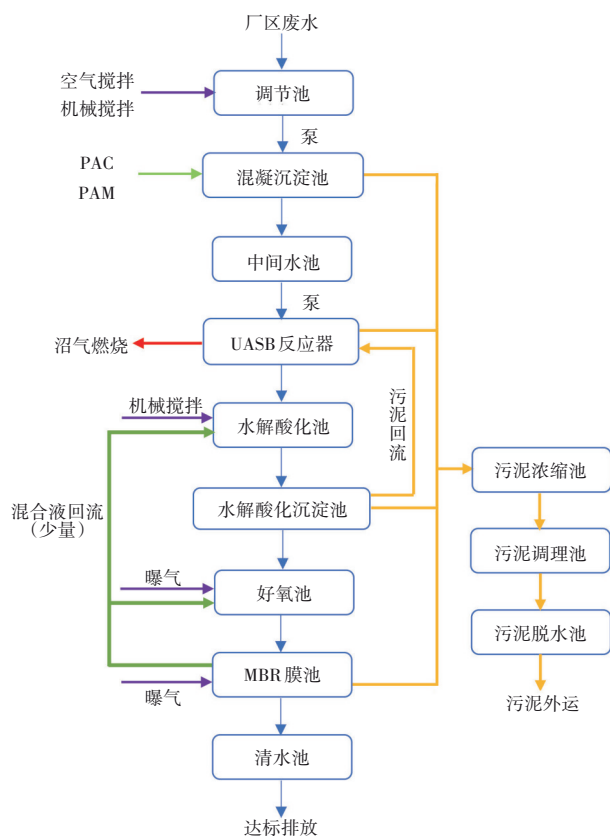


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

3 主要构筑物和设计参数

由于该工程用地有限,主要构筑物采取组合池的设计形式,共分为3组。组合池1包括调节池、混凝沉淀池、中间水池、污泥浓缩池、污泥调理池;组合池2包括UASB池、膜格栅槽、水解酸化池、水解酸化沉淀池、部分好氧池。组合池3包括好氧池、MBR膜池、清水池、混合液回流池。

① 调节池。共2格,设计尺寸分别为 $6.8\text{ m}\times 4.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}$ 、 $8.2\text{ m}\times 4.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,有效水深 6 m ,有效容积 405 m^3 ,水力停留时间 10.8 h 。设穿孔曝气管,气水比为 $3:1$,潜水搅拌机2台,叶轮直径 400 mm 。配套排污泵3台,前期1用2备,水量增多后2用1备,设计流量 $25\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 80 kPa ,由池内液位计控制。

② 混凝沉淀池。混凝反应池设计3格(1格进

水、1格混合池、1格絮凝池),设计尺寸分别为 $1.3\text{ m}\times 1.4\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ 、 $1.4\text{ m}\times 1.4\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ 、 $1.4\text{ m}\times 1.4\text{ m}\times 3.5\text{ m}$,停留时间为 20 min 。采用机械搅拌,桨叶外径为 $1\,200\text{ mm}$ 。混凝沉淀池设计尺寸为 $4.5\text{ m}\times 4.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,有效水深为 6 m ,水力表面负荷为 $1.9\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,水力停留时间为 3.2 h 。配套管道排泥泵2台,1用1备,设计流量为 $20\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 125 kPa 。

③ 中间水池。设计尺寸为 $4.5\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,有效水深为 5.5 m ,配套排污泵3台,前期1用2备,水量增多后2用1备,设计流量为 $25\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 200 kPa ,由池内液位计控制。

④ UASB池。升流式厌氧反应器,采用配水器布水。共3格,每格设计尺寸为 $9.0\text{ m}\times 10.5\text{ m}\times 13.5\text{ m}$,有效水深为 12 m 。容积负荷为 $4.0\text{ kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,三相分离器沉淀池表面负荷为 $0.39\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,设计上升流速为 $0.3\text{ m}/\text{h}$,设计停留时间为 90.7 h 。

⑤ 水解酸化池。设计尺寸为 $14.5\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$,有效水深为 6.2 m ,水力停留时间为 9.3 h ,配套潜水搅拌机2台,叶片直径为 400 mm 。水解酸化沉淀池设计尺寸为 $4.0\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 6.0\text{ m}$,有效水深为 6.1 m ,表面水力负荷为 $2.3\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,水力停留时间为 2.6 h 。配套管道排泥泵2台,1用1备,设计流量为 $37\text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 200 kPa 。

⑥ 好氧池和MBR膜池。共4格,其中1格设计尺寸为 $4.0\text{ m}\times 9.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$,有效水深为 5.9 m ;其他3格设计尺寸分别为 $8.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 6.5\text{ m}$ 、 $8.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 6.5\text{ m}$ 、 $6.8\text{ m}\times 4.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,有效水深均为 5.7 m 。膜池设计尺寸为 $3.8\text{ m}\times 4.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,有效水深均为 5.6 m ,总停留时间为 25 h 。混合液回流比为 300% ,污泥浓度为 $8\,000\text{ mg}/\text{L}$ 。MBR膜组件6套,每套膜面积 600 m^2 ,膜通量为 $15\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

4 实际运行及问题处理

4.1 运行情况

该系统于2023年10月进入调试阶段,调试期2个月,12月正式投入运行,进水量约 $700\text{ m}^3/\text{d}$ 。目前该废水处理站出水COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、总磷、色度等能够稳定达标。该项目主要污染因子为COD,各处理单元的COD去除效果见图2。数据来自企业每日一次的自主例行检测。

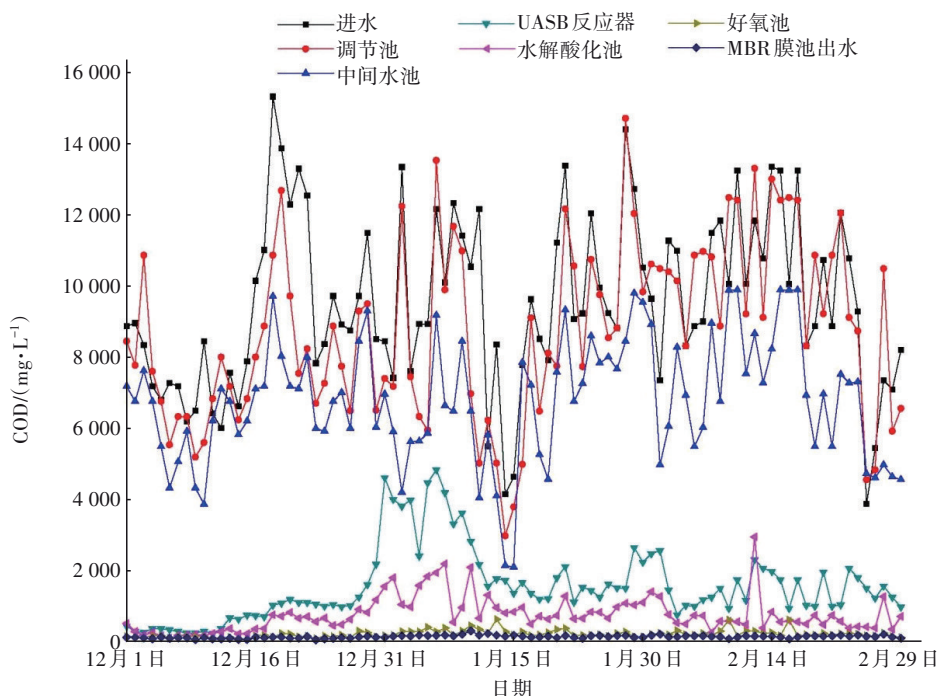


图2 2023年12月—2024年2月各处理单元的COD去除效果

Fig.2 COD removal effect of each treatment unit from Dec. 2023 to Feb. 2024

从运行数据上看,进水COD月均值为9 000~10 000 mg/L,低于设计进水指标,同时也存在某些时段进水COD超过12 000 mg/L的情况,但出水COD均在200 mg/L以下,满足设计出水要求。从各处理单元处理效率来看,调节池+混凝沉淀池的COD去除率约28%,基本符合设计预期值;UASB反应器的COD去除率为76%,低于设计预期值,设计预估去除率为85%以上;水解酸化池+沉淀池的COD去除率约51%,略高于设计预期值;好氧池+MBR膜池的整体COD去除率约79%,基本符合设计预期值。

4.2 问题处理

目前,该废水处理站整体运行稳定,各处理单元实际处理效率基本符合预期,但实际运行中发现一些不足,同时针对性地提出了以下解决措施。

① UASB池存在“跑泥”现象且部分污水和泡沫进入沼气收集管

可能原因:a. 进水水质波动较大,对反应器稳定运行有较强冲击;b. 容积负荷取值偏保守,导致絮状污泥成形不佳;c. 配套的三相分离器效率不理想。解决措施:a. 设计方案中MBR出水部分进入恒压供水设备,用于膜格栅冲洗,现将恒压供水设备出水接一根支管至中间水池,以低浓度的出水适当稀释中间水池的高浓度废水,降低UASB池进水COD,

同时尽可能保持UASB池进水水质相对稳定。b. 将现有沼气收集管管径由DN50更换为DN150,提高沼气收集效率,以便间接提高三相分离器效率。

② UASB池上方的配水器配水不均

设计UASB池分3格独立运行,采用三等分配水器。因为配水器与每格UASB池距离不同,所以配水不均,且无法精准控制流量。解决措施:在配水器出水管加装流量计和阀门,并与自控系统关联,通过控制阀门的开合度尽量实现均匀配水和流量的精准控制。

5 技术经济指标

该项目主要运行费用包括人工费、电费、药剂费、膜清洗费等,其他折旧、大修等不计。由于污泥与生产药渣协同外售资源化处理,故污泥处置费也不计入运行成本。运行费用测算见表2。

表2 运行费用测算

Tab.2 Operating cost of wastewater treatment

项目	消耗量	单价	费用/(元·m ⁻³)
电	2.6 kW·h/m ³	0.68 元/(kW·h)	1.77
液碱(32%)	0.12 m ³ /(m ³ ·d)	1 200 元/t	0.21
PAC	100 kg/d	1 900 元/t	0.27
PAM	3 kg/d	25 000 元/t	0.11
MBR膜清洗			0.24
人工	4人,工资5 000 元/(月·人)		0.95
合计			3.55

6 结论

针对中药企业高浓度COD生产废水,设计采用预处理/UASB/水解酸化/MBR的组合处理工艺。实践表明,该组合工艺可以高效去除废水中污染物,各处理单元实际处理效率总体上符合设计预期,出水水质能稳定达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)表1中A级标准。UASB产生的沼气收集后采用火炬燃烧,污泥经压滤后配合药渣外售综合利用。总体来看,该组合工艺运行稳定,操作简便,对COD浓度高、用地紧张的中药废水处理工程具有良好的适用性。

参考文献:

- [1] 孙杰,王顺,陈宇.气浮+UASB+A/O+芬顿工艺处理中药制药废水[J].中国给水排水,2017,33(44):111-113.
SUN Jie, WANG Shun, CHEN Yu. Treatment of Chinese medicine pharmaceutical wastewater using combined air flotation, UASB, A/O and Fenton oxidation process [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(44):111-113(in Chinese).
- [2] 冯丽霞,赵艺,王亚晓,等.两级水解/接触氧化/BAF组合工艺处理中药废水[J].中国给水排水,2019,35(6):89-92.
FENG Lixia, ZHAO Yi, WANG Yaxiao, et al. Treatment of traditional Chinese medicine wastewater by two-stage hydrolysis/contact oxidation/BAF combination process [J]. China Water & Wastewater 2019, 35(6): 89-92(in Chinese).
- [3] 刘立,刘畅,农燕凤,等.中药废水处理工程设计实例及分析[J].中国给水排水,2018,34(8):89-92.
LIU Li, LIU Chang, NONG Yanfeng, et al. Design and analysis of wastewater treatment project in a Chinese traditional medicine industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(8):89-92(in Chinese).
- [4] 苏继明,郭丽娟,孙振洲,等.某中药制药企业废水高效低耗扩建工程实例[J].环境生态学,2023,5(5):86-90.
SU Jiming, GUO Lijuan, SUN Zhenzhou, et al. A high efficiency and low consumption extension project example of traditional Chinese medicine wastewater treatment [J]. Environmental Ecology, 2023, 5(5): 86-90(in Chinese).
- [5] 王红梅,张亮,杨丽英,等.厌氧颗粒污泥反应器处理中药废水性能[J].工业水处理,2020,40(4):76-79.
WANG Hongmei, ZHANG Liang, YANG Liying, et al. Performance of anaerobic granular sludge reactor for treatment of traditional Chinese medicine wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(4): 76-79 (in Chinese).
- [6] 刘付真,杨玉梅,范鹏飞,等.外循环UASB-生物接触氧化工艺处理中药废水工程实例[J].广东化工,2021,48(8):176-178.
LIU Fuzhen, YANG Yumei, FAN Pengfei, et al. Engineering example of external circulation UASB-biological contact oxidation process for treatment of traditional Chinese medicine wastewater [J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(8): 176-178 (in Chinese).
- [7] 张为,刘锋刚,罗进,等.制药废水处理工程实例研究[J].给水排水,2023,49(2):85-89.
ZHANG Wei, LIU Fenggang, LUO Jin, et al. Research of pharmaceutical wastewater treatment project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(2): 85-89 (in Chinese).
- [8] 周刚,蒋琪,杨利平,等.水解酸化+接触氧化工艺处理中药饮片废水[J].山东化工,2023(14):250-252,255.
ZHOU Gang, JIANG Qi, YANG Liping, et al. Treatment of traditional Chinese medicine decoction piece wastewater by hydrolytic acidification+contact oxidation process [J]. Shandong Chemical Industry, 2023 (14):250-252,255(in Chinese).

作者简介:钟志君(1992-),男,安徽铜陵人,硕士,工程师,主要从事工业废水处理工艺研发、工程设计、调试运行和项目管理等相关工作。

E-mail:782647606@qq.com

收稿日期:2024-03-11

修回日期:2024-04-07

(编辑:衣春敏)