

MBR+臭氧+BAF工艺在工业废水处理中的应用

张辉鹏

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 南方某污水处理厂的一期工程规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用“水解酸化+卡鲁塞尔氧化沟”工艺,执行国家二级排放标准。在扩建及提标改造工程中,采用MBR工艺对一期工程进行提标改造,并采用“MBR+臭氧接触氧化+曝气生物滤池”的组合工艺应用于工业废水的处理,改造完成后污水处理厂出水执行一级A排放标准。基于对改造后各段出水水质的分析,研究了MBR工艺在污水处理厂提标改造和工业废水处理中的应用价值。研究表明:改造完成后污水处理厂一期工程和二期工程的出水稳定达标,臭氧接触和曝气生物滤池组合深度处理对 COD_{Cr} 和TP的平均去除率能够达到32.34%和39.50%,表明“MBR+臭氧+曝气生物滤池”工艺适用于工业废水处理提标改造工程。

关键词: 臭氧接触氧化;曝气生物滤池;工业废水处理;MBR工艺;一级A标准

中图分类号: X703.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)04-0300-05

Application of MBR + Ozone + BAF Process in Industrial Wastewater Treatment

ZHANG Huipeng

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The scale of the first phase of a wastewater treatment plant (WWTP) in southern China is $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. Its process is the hydrolytic acidification + Carrousel oxidation ditch process, and the national secondary discharge standards are implemented. In the expansion and upgrading reconstruction project, the MBR process is used to upgrade and reconstruct the first phase of the project, and the combined process of MBR+ ozone contact oxidation + biological aerated filter is used to treat the industrial wastewater. After the reconstruction, the effluent of WWTP is discharged according to the level-A standard. Based on the analysis of the effluent quality of each section after being reconstructed, the application value of MBR process in upgrading reconstruction of WWTP and treatment of industrial wastewater is studied. The results show that after the reconstruction, the effluent of the first phase and second phase projects of the WWTP is stable and up to the standard. The average removal rate of COD_{Cr} and TP by the combined advanced treatment of ozone contact and biological aerated filter can reach 32.34% and 39.50%, which indicates that the MBR+ ozone + biological aerated filter process is suitable for the upgrading reconstruction project of industrial wastewater treatment.

Keywords: ozone contact oxidation; biological aerated filter; industrial wastewater treatment; MBR process; level-A standard

0 引言

MBR(Membrane Bio-Reactor)又被称为膜生物反应器,最早诞生于1966年,由美国的Dorr-Oliver公司首次将其用于废水处理研究^[1]。20世纪70年代,MBR工艺作为先进水处理技术在日本得到应用^[2-3];20世纪90年代,MBR工艺在越来越多的国家得到应用,并广泛被用于生活污水和工业废水的处理中^[4];

20世纪90年代初期,我国也陆续开展了MBR工艺的相关研究工作。MBR工艺的主要特点在于其占地面积小、污泥浓度高、处理效果好^[5-6],因此得到了国内高校及科研单位的广泛关注,并在水处理研究领域得到了较快的发展,为MBR工艺在我国水处理方面的实际应用和推广奠定了基础^[7]。工业废水的水质情况复杂,大多具有酸碱度大、色度高、高氨氮、高盐度、可生化性差等特点,因此需采用MBR工艺进行处理,只有经过深度处理后,出水才能稳定达到较高的排放标准。

收稿日期: 2024-06-13

作者简介: 张辉鹏(1991—),男,工学硕士,工程师,从事给排水设计工作。

1 工程概况

南方某污水处理厂一期工程的设计规模为 $2.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$,于2009年投入运行,设计的出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)^[8]中的二级排放标准。近年来,该厂为应对污水量的增加并提高排放标准,开展了扩建提标工程。扩建完成后,该厂总服务面积约为 18.13 km^2 ,其中工业园区面积为 8.58 km^2 ,园区内含多家精细化工企业,其中工业企业污水量约 $1.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。扩建完成之后的污水处理厂一、二期的总处理规模为 $5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

本文中的研究工程通过一期生化处理设施处理 $2.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的生活污水,二期扩建的生化处理设施处理 $1.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 工业废水+ $1\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 生活污水,总出水标准执行国家一级 A 排放标准。其中二级生化处理主要采用 MBR 工艺,针对污水处理厂的工业废水段采用“臭氧接触+曝气生物滤池”的深度处理工艺,使其出水稳定达到一级 A 排放标准。

2 主要存在问题及分析

该污水处理厂一期工程设计规模为 $2.5\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$,进水中含有较多工业废水,污水处理采用“水解酸化池+AC 卡鲁塞尔氧化沟”工艺,但在实际运行过程中存在如下几个问题。

2.1 处理规模无法满足实际需求

根据污水处理厂的 actual 运行数据,污水处理厂的日处理量波动较大,且大部分时间已达到满负荷运行。从全年统计数据来看,全年的平均日进水量为 $2.56\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$,已超过一期设计规模;且日进水量超过 $2.5\times10^4\text{ m}^3$ 的天数达到 166 d,超负荷运行比例达到 45.48%。

2.2 实际进水水质劣于设计进水水质

一期工程中的设计进水水质如表 1 所列,实际进水的 COD_{cr} (Chemical Oxygen Demand) 及氨氮浓度如图 1、图 2 所示。由表 1 可见,随着工业园区的发展及入驻企业的增加,污水处理厂的 actual 进水水质劣于设计进水水质。

表 1 一期进水水质一览表

指标	COD_{cr}	BOD_5	SS	氨氮	TN	TP
设计进水浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	600	180	400	40	60	5

经统计,全年有 3 个月进水的平均 COD_{cr} 浓度超设计进水浓度,进水的 COD_{cr} 最高浓度达到 $1\,260\text{ mg/L}$,

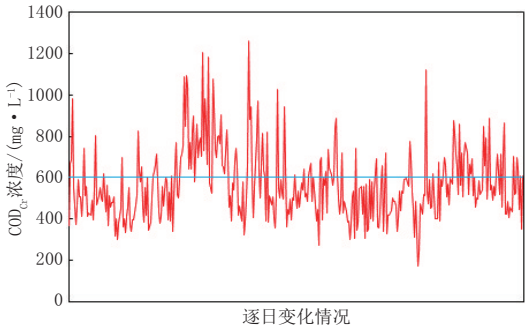


图 1 进水 COD_{cr} 浓度情况

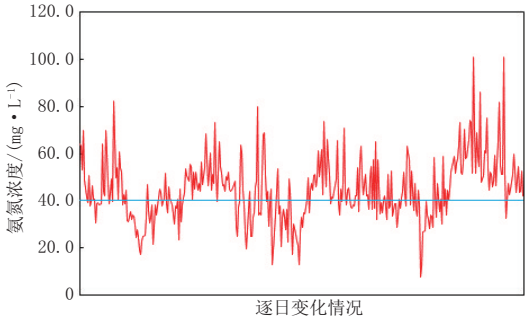


图 2 进水氨氮浓度情况

全年统计中进水的 COD_{cr} 浓度超设计进水浓度比例达到 35.34%。可见实际进水水质较差对污水处理厂的正常运行影响较大。

2.3 出水水质不能满足提标改造要求

该污水处理厂的一期工程执行二级排放标准,根据污水处理厂近年的出水情况,与《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准相比,出水水质的日达标率如表 2 所列。

表 2 2012—2013 年出水达标情况一览表

序号	项目	一级 A 标准达标率/%
1	COD_{cr}	0.55
2	BOD_5	31.6
3	SS	1.5
4	氨氮	46.6
5	TN	7.8
6	TP	3.4

该厂的一期工程出水能够稳定达到二级排放标准,但根据提标改造的相关要求,污水处理厂出水标准需执行城镇污水处理厂一级 A 排放标准。而目前该厂经处理工艺后的出水不能达到这一要求,且进水水量偏高、进水水质劣于设计进水水质,更加导致该厂现状处理工艺无法实现出水达到一级 A 排放标准。

3 总体工艺设计

3.1 扩建改造方案

该工程服务范围内有多家精细化工企业,因此

进水中污染物种类较多,主要包含酸、碱物质、油、硫化物、挥发酚、氰化物、氨氮等。因此该工程中将工业废水与生活污水分离,一期工程将处理生活污水,二期扩建工程处理混合污水。综合污水处理厂现状建(构)筑物与实际现状运行情况等多方面因素,确定本工程设计工艺如图3所示。

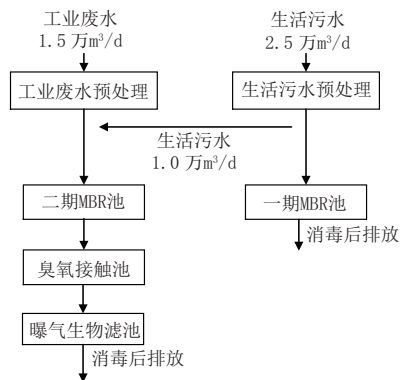


图3 工艺流程图

$2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生活污水经沉砂处理后直接进入一期MBR反应池,膜分离出水后经消毒直接排放; $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 工业废水则进入水解酸化池,经水解之后与 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 生活污水混合进入二期MBR反应池,膜分离出水后再经过“臭氧氧化+曝气生物滤池”深度处理,消毒排放。

3.2 工艺改造方案可行性分析

因本工程规划用地十分紧张,故选用MBR工艺以解决现状工艺中存在的问题。MBR技术被称为21世纪水处理技术^[9],该工艺具备出水水质好、占地少、生产连续稳定、污泥产率小^[5]和氨氮去除效率高^[10]等优点,其污泥泥龄可达15~20 d,MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids)浓度达到12 000~15 000 mg/L,且有机负荷(Food/Microorganism, F/M)仅为0.05~0.15 $\text{kg}/\text{kg} \cdot \text{d}$ ^[6]。近年来,MBR工艺在污水处理建设中被广泛使用,具有杰出的应用价值^[10]。

选择该套工艺应用于本工程中,主要基于以下几个方面的原因。

(1) MBR工艺通过膜分离技术(膜孔径在0.01~0.04 μm 之间)对活性污泥进行物理分离,从而实现活性污泥的有效富集,分离效果远高于常规沉淀池。针对本项目工业废水难降解有机物含量高的特点,MBR工艺的使用能够最大程度提高有机物的去除效率。

(2) 膜分离技术的使用有利于控制生物反应池内活性污泥的泥龄。硝化细菌的世代周期相对较长,通过活性污泥泥龄控制,可将硝化细菌培养成为优势菌群,进而提高氨氮去除率。

(3) 该项目进水中含有工业废水占比较高,冲击负荷较大。MBR工艺的最大特点就是反应池内活性浓度远高于传统生物反应池,污泥浓度能达到传统工艺的3倍以上;且相较传统工艺,MBR工艺活性污泥中的微生物种类更加丰富,生物链更加完整,因此该工艺具备较强的抗冲击能力,进而能够保障污水处理厂、尤其是针对性处理工业废水的污水处理厂能够安全、高效、稳定运行。

3.3 工艺设计参数

(1) 一期MBR反应池

将一期氧化沟改造为MBR反应池,设计运行参数如下:缺氧池停留时间为3 h,好氧段的水力停留时间为16.2 h,MLSS浓度为6 000 mg/L。

(2) MBR反应池

新建2座MBR反应池,用于处理混合污水 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计运行参数如下:总停留时间为46.5 h,厌氧段的停留时间为2.5 h,缺氧段的停留时间为11 h,好氧段的停留时间为33 h,MLSS浓度为7 000 mg/L。

(3) 臭氧接触氧化池

扩建二期MBR膜出水通过抽吸泵入提升进入臭氧接触氧化池,进行接触反应,降低COD,提升可生化性,去除废水色度。设计臭氧投加量为20~30 mg/L,接触氧化时间为30 min。

(4) 曝气生物滤池

滤池共分8组,每格尺寸为9.5 m×7 m,采用双排布置,每侧5格,中间为综合管廊,管廊内布置各种管线及鼓风机等设备,管廊上部建筑一半用作滤池控制室,另一半作为配电间。

4 处理效果评价

提标扩建工程目前已通过环保验收,系统进入稳定运行期,各项出水指标稳定达到一级A排放标准。本节就污水处理厂实际运行情况,对工艺改造的处理效果进行分析。

4.1 污水处理厂日处理规模分析

目前该污水厂的生活进水约为 $(1.9 \sim 2.2) \times 10^4 \text{ t/d}$,工业进水约为 $(0.8 \sim 0.9) \times 10^4 \text{ t/d}$;其中工业进水全部进入扩建二期单元进行处理,生活污水约有 $(0.5 \sim 1.0) \times 10^4 \text{ t/d}$ 进入扩建的二期装置进行处理。

4.2 一期设施的进、出水水质情况

对一期工程的改造主要是利用厂内的原氧化沟作为MBR反应池,经MBR膜分离再消毒后排放,服

务对象为生活污水。

改造完成后一期工程的进、出水主要污染物指标浓度分别如表 3 所列。

表 3 一期进、出水污染物浓度情况				单位:mg/L
指标	取样位置	最大值	最小值	平均值
COD _{cr}	进水	390	96	225
	出水	48	31	39
氨氮	进水	36.40	10.40	20.41
	出水	2.27	0.10	0.29
总氮	进水	60.0	22.0	38.1
	出水	14.4	1.8	8.3

通过对进、出水水质进行分析,出水中的主要污染物指标(氨氮,总氮,总磷)浓度均能够实现达标排放,其中 COD_{cr} 平均浓度为 38 mg/L,氨氮平均浓度为 0.28 mg/L,总氮平均浓度为 8.3 mg/L,可见出水水质十分稳定,且达到排放标准。

由表 3 来见,利用 MBR 工艺对污水处理厂进行提标改造的思路是可行的,将 MBR 工艺应用到污水处理厂提标改造中,能实现出水稳定且出水水质优良,适用于将中小型规模污水处理厂提标至一级 A 排放标准。

4.2 二期扩建设施的进、出水水质情况

二期为扩建工程,利用 MBR 工艺结合“臭氧接触+曝气生物滤池”的深度处理工艺,以处理工业废水和生活污水的混合废水。

污水处理厂二期扩建设施的进、出水主要污染物指标浓度分别如图 4、图 5 和图 6 所示。

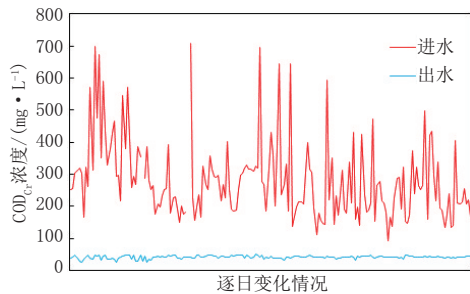


图 4 二期扩建进、出水 COD_{cr} 浓度情况

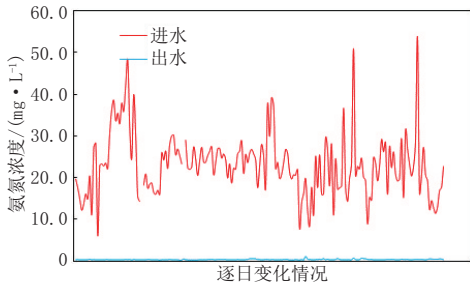


图 5 二期扩建进、出水氨氮浓度情况

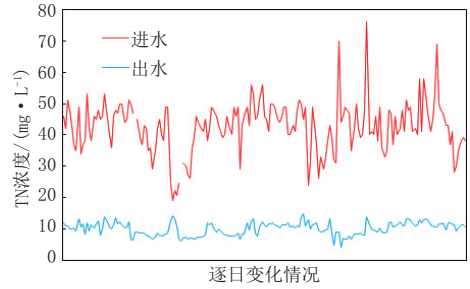


图 6 二期扩建进、出水 TN 浓度情况

从污水处理厂进水情况来看,由于 60% 进水为工业废水,因此水质波动较大;而从出水情况来看,可见污水处理厂二期扩建部分的出水水质稳定,其中,氨氮浓度一直保持较低水平, COD_{cr} 和 TN 浓度稳定达到一级 A 排放标准要求。

4.3 深度处理对污染物的去除情况

二期设施的 MBR 池出水、臭氧接触池出水和 BAF 池出水中的主要污染物指标,分别如图 7、图 8 所示。

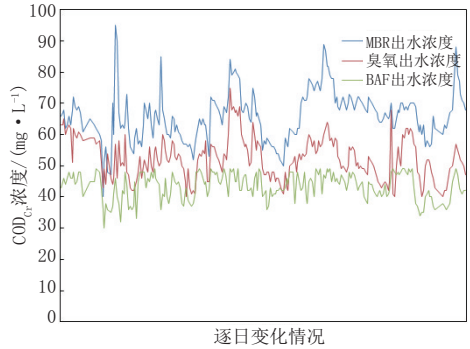


图 7 二期深度处理后 COD_{cr} 浓度变化情况

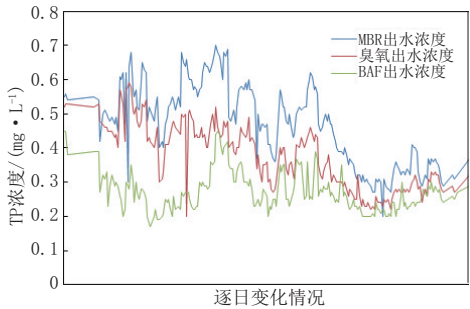


图 8 二期深度处理后 TP 浓度变化情况

通过对二期 MBR 池出水、臭氧接触池出水和 BAF 池出水的水质情况进行统计分析,可以判断臭氧接触工艺和 BAF 曝气生物滤池工艺对主要污染物均有一定程度的去除作用。其中,臭氧接触工艺对 COD_{cr} 和 TP 的平均去除率分别为 20.22% 和 19.14% , BAF 曝气生物滤池工艺对 COD_{cr} 和 TP 的平均去除率分别为 14.73% 和 24.52%;而经臭氧接触和曝气生物滤池组合深度处理后,对 COD_{cr} 和 TP 的平均去除率分别达到 32.34% 和 39.50%,表明该工艺对工业废水

污染物的去除是十分有效的。

综合来看,利用MBR工艺,结合“臭氧接触+曝气生物滤池”的深度处理工艺,对工业废水进行处理的思路是可行的,能实现出水水质稳定,且能够达到一级A排放标准。

6 结 语

(1) MBR工艺因其占地面积小、污泥浓度高、处理效果佳等特点,可适用于高浓度负荷的中小型污水处理厂。

(2) 将污水处理厂出水由二级排放标准提高至一级A排放标准时,将厂区现有生化池改造为MBR反应池、提升处理工艺为MBR工艺的思路是可行的。

(3) 针对工业废水的水质、水量均波动较大的现状,通过水解酸化工艺增加进水可生化性,对生化段采用MBR工艺,并通过“臭氧接触+曝气生物滤池”深度处理工艺,可使出水能稳定达到一级A排放标准。

参考文献:

- [1] 许旅强,刘利杰,梅峰,等.膜生物反应器在污水处理中的研究进展[J].广州化工,2012,40(4):16-17.
- [2] 魏源送,郑祥,刘俊新.国外膜生物反应器在污水处理中的研究进展[J].工业水处理,2003,23(1):1-7.
- [3] Kimura S. Japan's Aqua Renaissance '90 Project[J]. Iwa Publishing, 1991, 23(7-9): 1573-1582.
- [4] 夏静远.浅谈MBR工艺在污水处理中的应用和发展[J].智能城市,2019(5):130-131.
- [5] Judd S. The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment[M]. Elsevier: Oxford, 2006.
- [6] Stephenson T. Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment[M]. IWA Publishing: London, 2000.
- [7] 王永宁.MBR污水处理工艺运行条件优化及膜清洗方法研究[D].广州:华南理工大学,2017.
- [8] GB 18918—2002,城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
杨丽红.膜生物反应器(MBR)在中水回用中比较研究[J].环境研究与监测,2013,26(1):38-41.
- [9] 齐亚辉,焦德富,潘美霞.膜生物反应器脱氮效能的实验研究[J].环境保护与循环经济,2010(4):44-45;60.
- [10] 王丹,王然,刘航飞.中水回用与效益分析[J].环境保护与循环经济,2013(12):33-36.

(上接第294页)

- 析[J].福建交通科技,2023(1):46-52.
- [7] 毛鸿飞,郑伟江,马英超,等.不同截面形状淹没水平柱体上波浪力数值模拟研究[J].大连理工大学报,2024,64(5):507-515.
 - [8] 姜辉,马长飞,王波.刚构-连续梁组合桥悬臂施工阶段船行波动力响应分析[J].世界桥梁,2017,45(4):61-65.
 - [9] 齐林.跨海大桥不同类型下部结构波浪力特性[J].铁道建筑,2024,64(6):9-16.
 - [10] 李杰,李梦闯,张军锋,等.水流、波浪作用下复杂桥墩动力响应[J].科学技术与工程,2024,24(14):6022-6033.

- [11] 刘政伟,夏齐勇.船行波激励下深水桥墩的动力响应分析[J].桥梁建设,2018,48(3):85-89.
- [12] 汪舟红,韩国松.船行波对系泊船的影响分析[J].水运工程,2015(9):8-34.
- [13] 刘洋.船行波对航道周边工作船舶的影响及应用[D].大连:大连海事大学,2007.
- [14] JTS 145—2015,港口与航道规范[S].
- [15] 宋金宝,徐德伦,孙孚.计算孤立小桩柱上随机波浪力的一个线性化的Morison公式[J].海洋学报(中文版),1997(3):133-141.