

环境工程污水处理中膜生物反应技术的应用分析

景溢

中交机电工程局有限公司第六工程分公司, 北京 100000

摘要: 膜生物反应技术是集膜分离与生物处理为一体的新型污水处理工艺, 近年来备受关注。文章首先阐述了膜生物反应技术的基本原理, 指出其利用膜组件截留活性污泥、强化污水处理过程的特点。在分析影响膜生物反应技术应用的关键因素时, 文章从膜性能与组件配置、操作条件优化、曝气方式与清洗策略三方面进行了详细论述, 以为该技术的工程应用和创新发展提供参考。

关键词: 环境工程; 污水处理; 膜生物反应技术; 应用措施

Application Analysis of Membrane Bioreactor Technology in Environmental Engineering Wastewater Treatment

Jing Yi

China Communications Mechanical and Electrical Engineering Bureau Co., Ltd. Sixth Engineering Branch, Beijing 100000

Abstract: Membrane bioreactor technology is a new type of wastewater treatment process that integrates membrane separation and biological treatment, and has received much attention in recent years. The article first elaborates on the basic principles of membrane bioreactor technology, pointing out its characteristics of using membrane components to intercept activated sludge and enhance sewage treatment processes. When analyzing the key factors affecting the application of membrane bioreactor technology, the article provides a detailed discussion from three aspects: membrane performance and component configuration, optimization of operating conditions, aeration mode and cleaning strategy, in order to provide reference for the engineering application and innovative development of this technology.

Keywords: environmental engineering; wastewater treatment; membrane bioreactor technology; application measures

引言

随着工业化和城市化进程的快速推进, 水环境污染问题日益突出, 对人类健康和生态安全构成严重威胁。传统污水处理技术已难以满足日益严格的排放标准和回用要求, 亟需开发高效、经济、环境友好的新型污水处理技术。在此背景下, 膜生物反应技术应运而生, 凭借其独特的优势迅速成为污水处理领域的研究热点和应用前沿。深入探究膜生物反应技术的原理特点、影响因素及应用实践, 对于推动环境工程领域的技术进步与创新发展具有重要意义。

一、膜生物反应技术的特点

1. 出水水质好: 膜组件对污泥和大分子溶解性污染物具有良好的截留作用, 严格控制了处理水中的 SS、COD、氨氮等指标, 出水可达到水回用标准。

2. 装置紧凑: 取消了二沉池, 整个工艺流程简化, 占地面积大幅减小, 尤其适合空间受限的城市污水处理厂改扩建。

3. 污泥浓度高: 膜截留使 MLSS 可维持在较高水平, 强化

了生物处理效果, 提高了污水的去除效率, 有利于难降解污染物去除。

4. 管理相对简便: 污泥龄长, 剩余污泥产量低, 无需设置独立的污泥回流系统。运行控制简单, 自动化程度高, 降低了人工操作强度。

5. 较强的抗冲击负荷能力: 高浓度 MLSS 赋予系统更大的容量, 可有效缓冲进水水质和水量的波动, 确保稳定达标排放。

二、膜生物反应技术应用中的关键影响因素

膜生物反应技术在污水处理领域的应用日益广泛。为充分发挥该技术的优势,实现稳定高效运行,需重点关注以下三个关键影响因素:

(一) 膜性能与膜组件配置

膜材料的选择和膜组件的合理配置是影响膜生物反应系统性能的首要因素。当前污水处理中常用的膜材料主要包括聚偏氟乙烯(PVDF)、聚醚砜(PES)等有机高分子材料和陶瓷等无机材料^[1]。不同材质膜的亲水性、抗污染能力、耐化学性、机械强度等性能存在差异,需结合污水特性、运行条件等因素综合考虑。此外,平板膜与中空纤维膜在截留效果、能耗、清洗难易程度等方面也各有特点。膜孔径的大小则影响污染物去除效果和膜通量。合理匹配膜材料、形式和孔径参数,对于保障处理效果和运行效率至关重要。

(二) 操作条件优化

膜生物反应系统的实际运行效果受进水水质、污泥浓度(MLSS)、膜通量、跨膜压差(TMP)、水力停留时间(HRT)等多个操作参数的影响。其中MLSS和膜通量是两个关键参数。MLSS过低会降低处理效率,过高则易引发膜污染;膜通量增大有利于提高处理量,但过高则加剧膜堵塞^[2]。因此,需针对不同水质和处理规模,优化设定各项操作参数,既可保证良好的出水水质,又能延长膜使用寿命,降低运行成本。TMP和HRT的动态调整也有助于在不同进水负荷下实现稳定达标排放。

(三) 曝气方式与清洗策略

曝气作为维持MBR运行的动力,其方式与强度配置对控制膜污染、减少能耗具有显著影响。合理布置曝气区,采用间歇曝气、大气泡/小气泡组合曝气等方式,可在满足供氧需求的同时,最大限度地降低动力消耗。池内溶解氧(DO)浓度宜控制在3~4mg/L,避免过量曝气。针对膜污染问题,定期的物理和化学清洗必不可少^[3]。优化清洗频率和强度,配合在线剪切、反吹等措施,是控制污染、恢复膜通量的有效手段。采用温和、环保的清洗剂,延长清洗间隔,也有助于减少化学品消耗和二次污染。

三、膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用分析

(一) 在生活污水处理中的应用

随着城镇化进程的不断推进,人口的快速聚集导致生活污水排放量激增,给城市水环境带来巨大压力。传统活性污泥法虽在生活污水处理中得到广泛应用,但其出水水质难以满足日益严格的排放标准和回用要求^[4]。膜生物反应(MBR)技术正是在这一背景下应运而生,成为解决当前生活污水深度处理难题的重要手段。MBR技术融合了膜分离与生物降解两大原理,具有去除效率高、出水品质优、占地面积小、自动化程度高等显著优势。引入MBR工艺,可显著提升污水处理厂脱氮除磷能力,使COD、氨氮、总氮、总磷等关键指标稳定达到国家一级A排放标准,为改

善接纳水体水质奠定坚实基础。与此同时,MBR系统产水可直接用于城市杂用、工业循环冷却、景观环境等用途,在缓解城市供水压力的同时,也为水资源的梯级利用和循环经济发展开辟了新路径。

以北京某污水处理厂升级改造项目为例,通过采用预处理+MBR+紫外消毒组合工艺,使污水处理规模由8万吨/日提升至12万吨/日,出水水质全面达到北京市再生水水质标准,成为国内单体规模最大的中水回用项目之一。再生水经处理后分别用于城市绿化、道路清扫、卫生冲洗等杂用水用途,每年可为城市节约4380万吨新鲜水资源^[5]。

又如上海市某水质净化中心二期工程,通过对现有活性污泥工艺实施MBR提标改造,不仅使出水COD浓度由30mg/L降至10mg/L以下,总磷也实现了由1mg/L至0.3mg/L的大幅提升,出水稳定达到苏州河Ⅳ类水标准,为上海中心城区主要河道水质改善作出了突出贡献。

在海绵城市建设与黑臭水体治理的大背景下,分散式MBR技术也逐渐成为解决支流污染、削减河道入湖(海)污染负荷的有力抓手。通过在初期雨水弃流污染控制、溢流污染控制等关键节点布设MBR一体化设备,可有效拦截面源污染,并通过尾水生态补水改善河湖水质。在此基础上,因地制宜开发构建MBR+人工湿地、MBR+景观水等多种形式的组合工艺,既可实现污水就地收集、就近处理与回用,又可打造形态多样、生态宜人的滨水景观,为提升城市品位和宜居水平提供了新思路。

(二) 在工业废水处理中的应用

工业废水处理是MBR技术应用的重点领域,工业废水水质复杂多变,污染物种类繁多,给深度处理和回用带来巨大挑战。MBR技术具有优异的适应性和抗冲击负荷能力,可有效应对不同行业和工艺条件下的废水处理需求。在工业园区或企业端引入MBR工艺,可充分利用其高效截留、耐受性强等特点,在去除有机污染物的同时,有效阻隔重金属、悬浮物等复合污染物,确保出水稳定达标。这为工业废水的循环利用提供了可靠保障^[6]。此外,MBR工艺模块化、集约化的设计特点,便于在原有污水站基础上实施提标改造,也为水量水质波动频繁的中小企业量身定制处理方案创造了条件。

对化工、印染、电镀等重点行业废水,建议优先考虑采用水解酸化+二级A/O+MBR组合工艺。该工艺可发挥水解酸化单元对难降解有机物的预处理作用,并利用A/O工艺强化脱氮除磷。末端MBR单元进一步去除残留污染物,确保出水稳定达到回用标准。实践表明,该工艺可使COD、色度去除率达95%以上,总氮、总磷去除率超过85%,为印染、化工等行业废水资源化利用提供了有力支撑。

对于石化、煤化工等高浓度有机废水,宜优化集成MBBR+MBR组合工艺。MBBR工艺在降解芳香烃和氨氮方面具有独特优势,与MBR技术的常压、常温运行特性相结合,可在节约能耗的同时实现高效深度处理^[7]。两者协同作用,可使COD、氨氮等关键指标去除率稳定在95%以上。

针对钢铁、煤化工等高盐废水,建议先采用厌氧/缺氧MBR

工艺进行预处理,利用电渗析或反渗透技术脱盐,并将浓缩液送至蒸发结晶系统,实现固液分离和盐分回收利用。同时,将电渗析或反渗透产生的淡水返回 MBR 系统补充,构建起高盐废水减量减污与梯级利用的新模式。

(三) 在医疗废水处理中的应用

医疗废水具有水质变化大、病原微生物含量高、抗生素残留多等特点,若处理不当,极易引发公共卫生安全和环境污染事件。MBR 技术凭借其出色的截留性能和消毒能力,为规范医疗废水处置、防范环境风险提供了有力保障。将 MBR 工艺应用于医院污水处理系统,可充分发挥膜组件对病毒、细菌等致病性微生物的高效拦截作用,可使大肠杆菌等常规指标去除率达到 99.99% 以上,远优于传统二级处理工艺。同时,MBR 工艺对抗生素、内分泌干扰物等特征污染物也表现出良好的去除效果,为后续废水的安全排放与回用创造了条件^[9]。此外,MBR 技术具有模块化设计、抗冲击负荷能力强等优点,便于医院污水处理设施的快速部署和应急处置。一旦发生重大疫情或公共卫生事件,可迅速启动 MBR 应急处理系统,最大限度降低污染风险,为保障公众健康提供坚实屏障。

针对综合性医院污水,建议采用预处理+MBR+深度消毒组合工艺。预处理单元应重点关注悬浮物和大颗粒杂质的去除,并控制进水水质的均衡性。MBR 单元宜优化设计参数,提高污泥浓度(MLSS),延长污泥龄(SRT),以强化对抗生素、消毒剂等特征污染物的去除。深度消毒单元可选用臭氧、紫外等非氯消毒工艺,进一步确保尾水水质安全。实践表明,采用该工艺可使 COD 去除率达 95% 以上,氨氮去除率超过 97%,粪大肠菌群数降至 100 个/L 以下,各项指标均优于国家医疗机构水污染物排放标准^[9]。

对于传染病医院污水,可进一步强化消毒措施,在 MBR 出水端增设正渗透(FO)单元。利用 FO 膜对病毒、细菌、抗生素等污染物的高效截留能力,可使尾水水质达到饮用水标准,杜绝疫情通过污水扩散的风险。值得注意的是,FO 产水盐度较高,回用时应避免长期对人体接触^[10]。可优先考虑用于冲厕、绿化、道路清扫等城市杂用,同时控制回用水在医院用水中的配比,避免造成二次污染。

在抗生素污染治理方面,可重点关注 MBR 与光催化、电催化等高级氧化技术的协同耦合。利用催化剂在紫外或外加电场等条件下产生高活性羟基自由基,能有效打开抗生素分子结构,大幅提升抗性基因的去除效率,降低细菌抗药性风险。实践表明,该工艺可使四环素、磺胺类等典型抗生素去除率达 90% 以上,为遏制环境中抗生素污染、保障公众用药安全开辟了新途径。

四、结束语

综上所述,膜生物反应技术以其优异的污水处理效果、资源化利用潜力以及环境友好特性,已成为环境工程领域的重要工具。在生活污水深度处理、工业废水达标排放、医疗废水安全处置等方面,MBR 技术均取得了广泛应用,发挥了重要作用。然而,MBR 技术在实际应用中仍面临一些技术瓶颈有待攻克。未来,应着力突破膜污染控制、系统能耗降低、运行成本优化等关键共性技术,加快 MBR 工艺与其他新工艺的集成耦合,不断提升污水深度处理及资源化利用水平,同时,还需立足区域水环境特征,开发具有针对性的差异化 MBR 组合工艺,加快成熟技术的推广应用。相信随着技术进步和产业发展,MBR 技术必将迎来更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 景晓晖. 环境工程污水处理中膜生物反应技术的应用探讨 [J]. 区域治理, 2024(18): 0126-0128.
- [2] 刘佳乐. 中试厌氧膜生物反应器处理市政污水效能研究与技术评价 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.
- [3] 陈天舒. 膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用 [J]. 地质研究与环境保护, 2023, 2(7): 25.
- [4] 陈洁. 膜生物反应技术下的环境工程污水处理 [J]. 科学技术创新, 2023(26): 17-20.
- [5] 于莹, 胡月明, 刘连杰. 探究环境工程污水处理中超滤膜技术的应用 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(3): 4.
- [6] 程一蕾. 菌藻共生-动态膜生物反应器处理生活污水的性能研究 [D]. 南昌大学, 2023.
- [7] 田金华. 膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(4): 16-18.
- [8] 王滢. 环境工程污水处理中超滤膜技术的应用分析 [J]. 装饰装修天地, 2023(4): 64-66.
- [9] 焦城播, 张嘉雯, 赵鹤翔, 等. 温度对厌氧膜生物反应器处理生活污水效能的影响 [J]. 环境工程学报, 2024(5).
- [10] 覃燕英. 环境工程中的化学反应技术及其应用 [J]. 工程建设(维泽科技), 2023, 6(1): 198-200.