

环境工程污水处理中的膜生物反应技术分析

申芳

山西交控生态环境股份有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i3.2615

[摘要] 随着环境污染问题的加剧,污水处理成为焦点,传统污水处理技术的局限凸显了膜生物反应技术(MBR)的研究价值,为提升污水处理效率与质量,深入探究MBR技术。理论分析、案例对比、实验数据参考等方法,解析其原理、对比膜材料、研讨联合技术、考察不同规模应用,结果表明,MBR技术优势显著但存在问题,明确了改进方向,这对推动污水处理技术革新、实现水资源可持续利用、改善生态环境具有重要意义,为环保事业发展提供关键技术支撑。

[关键词] 膜生物反应技术; 污水处理; 膜材料; 技术优化

中图分类号: U664.9+2 文献标识码: A

Analysis of Membrane Bioreaction Technology in Environmental Engineering Wastewater Treatment

Fang Shen

Shanxi Jiaokong Ecological Environment Co., Ltd

[Abstract] With the intensification of environmental pollution problems, sewage treatment has become a focus. The limitations of traditional sewage treatment technologies highlight the research value of membrane bioreactor technology (MBR). In order to improve the efficiency and quality of sewage treatment, MBR technology should be explored in depth. Through theoretical analysis, case comparison, experimental data reference, and other methods, the principles of MBR technology were analyzed, membrane materials were compared, joint technologies were discussed, and applications of different scales were examined. The results showed that MBR technology has significant advantages but problems, and improvement directions were clarified. This is of great significance for promoting the innovation of sewage treatment technology, achieving sustainable utilization of water resources, and improving the ecological environment, providing key technical support for the development of environmental protection.

[Key words] membrane bioreactor technology; Wastewater treatment; Membrane material; technical optimization

引言

在当今时代,环境问题愈发严峻,污水处理作为环境保护的关键环节,面临着前所未有的挑战与机遇,传统污水处理技术在效率、稳定性和出水水质等方面逐渐难以满足日益严格的环保标准。膜生物反应技术的出现,宛如一颗璀璨的新星,为污水处理带来了新的曙光,它融合了先进的膜分离与生物处理理念,凭借独特的优势展现出巨大的潜力。从微观的技术原理到宏观的实际应用,深入探究这一技术,对突破污水处理瓶颈、迈向可持续发展的环保路具有至关重要的意义,也为后续的技术改进与创新筑牢根基。

1 膜生物反应技术原理与优势阐释

1.1 技术原理深度解析

当污水被引入生物反应器后,其中的微生物便会对有机物

展开降解行为,膜组件会将活性污泥与已处理的水予以分离,进而达成泥水间高效的分离状态,其所运用的膜具备特定的孔径规格,能够以精准的方式截留微生物以及大分子有机物,有效避免它们伴随出水而向外流出。部分新型的膜生物反应器当中,凭借对膜孔径分布以及材质特性的优化举措,促使微生物反应器内部维持在高浓度水平,这提高了反应效率,为污水处理的稳定及高效性提供了有力保障,此技术原理也为其在复杂污水治理领域中的应用构筑了稳固根基。

1.2 显著优势详细剖析

在处理成效维度,针对污水内的COD、氮磷等各类污染物,该技术呈现出较高的去除比率,所产生的出水水质颇为优良,足以契合高标准的回用要求,以某些在水质方面有着严苛要求的电子芯片制造企业的污水处理情形为例,经由膜生物反应技术

处置后的水能够回用生产环节的特定工艺中^[1]。就占地面积而言,膜组件具备紧凑且高效的特性,能够在很大程度上节省空间,故而适宜应用土地资源相对紧张的区域。其运行稳定性表现强劲,膜的截留作用保证了生物反应器内部微生物浓度的稳定性,受外界环境波动所产生的影响较小,能够持续且稳定地运行,降低了维护成本以及处理过程中可能出现的不稳定状况,在长期的污水处理实践过程中彰显出独特的经济价值与环境效益。

2 不同膜材料在污水处理中的性能比较

2.1 各类膜材料特性对照

经改性后的聚偏氟乙烯(PVDF)膜展现出增强的亲水性,其表面所具备的特殊结构能够切实有效地降低膜遭受污染的风险,该膜还拥有良好的化学稳定性以及机械强度,足以耐受一定程度的酸碱环境与压力状况。聚丙烯(PP)膜虽然成本处于相对较低的水平,然而其亲水性较为薄弱,在长期的运行过程中,膜污染问题表现得相对显著。非织造膜则拥有较大的孔隙率以及比表面积,在过滤的初始阶段能够呈现出较高的通量,不过其截留精度在一定程度上存在局限性,陶瓷膜具有耐高温以及耐化学腐蚀的优势特性,能够适应部分特殊工况下的污水处理需求,然而其质地脆弱且成本高昂的特点限制了其在大规模范围内的应用情形。上述各类膜材料在孔径分布、表面电荷、粗糙度等物理化学性质方面均存在差异,这些差异直接作用膜的通量、截留能力以及抗污染性能,进而决定了它们在不同污水处理场景中所呈现出的适用性以及优劣表现情况。

2.2 膜材料对处理效能的作用

在膜材料对处理效能所发挥的作用方面,PVDF膜凭借其卓越的抗污染性能以及较高的截留精度,当面对含有机物和微生物等复杂成分的污水时,能够确保实现较高的COD去除率以及稳定的出水水质,从而为后续的深度处理流程或者回用环节提供优质的水源基础。PP膜尽管存在局限性,但是在那些对处理成本较为敏感且所处理的水质相对简单的项目当中,依然能够合理地运行维护措施来达成一定程度的污染物去除效果,其较大的通量在特定条件下能够提高整体的处理量^[2]。非织造膜所具有的高孔隙率有利于提升初期的过滤速度,在一些对通量有着较高要求且对出水水质要求相对宽松的预处理环节中,能够充分发挥其自身优势,降低能耗水平。陶瓷膜在处理高温、高腐蚀性的污水时,能够维持较为良好的处理性能,确保对关键污染物的有效去除,保障整个污水处理系统的稳定运行状态以及长期的可靠性表现,不同的膜材料凭借自身独特的性能从多个方面对处理效能产生影响。

3 膜生物反应技术与其他技术的整合途径

3.1 联合技术的协同机理

当与生物强化技术相结合时,借助向生物反应器内添加特定的高效微生物菌株或者菌群这一方式,这些微生物能够在生物反应系统所营造的特定环境中快速地进行繁殖以及代谢活动。它们凭借膜对底物和微生物所具有的截留效能,在反应器内部构建起高浓度的生物活性区域,并与膜生物反应中原有的微

生物群落形成协同合作的关系,共同对污水中那些难以降解的有机物实施分解行为。膜的存在为微生物构筑了相对稳定的生存环境,削减了外界因素对强化微生物所产生的冲击,使得生物矿化作用能够持续且高效地展现出来。在与高级氧化技术协同运作的方面,这些经氧化后的小分子物质更易被膜生物反应器中的微生物所摄取并加以利用,由此提高了整个系统对有机物的去除效率。此外,臭氧所具备的强氧化性还能够在一定程度上对膜表面生物膜的过度生长予以抑制,减轻膜污染状况,延长膜的使用年限,这种协同作用充分发挥了高级氧化技术的预处理长处以及膜生物反应技术的深度处理能力,达成了对污水中污染物的高效去除以及转化目标,增强了整个污水处理工艺的性能表现和稳定性水平。

3.2 优化整合方式的实例研讨

以某工业园区污水处理厂为例,其采用膜生物反应与厌氧发酵联合工艺,污水进入厌氧发酵池,在厌氧环境下,大分子有机物水解酸化,生成挥发性脂肪酸等小分子物质,同时产生沼气回收利用。经厌氧发酵预处理的污水再进入膜生物反应器,膜组件截留残留微生物与未完全分解的有机物,进行好氧生物处理,使 COD去除率超95%,还节省大量传统能源,降低成本。膜生物反应器去除污水中大部分污染物后,出水引入人工湿地深度净化与生态修复,湿地中植物根系和微生物群落吸收转化残留污染物,利用湿地自然净化功能提升水质生态指标。此组合充分发挥了膜生物反应技术的高效性与人工湿地的生态优势,为污水资源化利用和生态环境改善提供有效途径。

4 膜生物反应技术市政污水处理的实践

4.1 小型规模应用效果解析

在偏远山区小型社区或旅游景点分散式污水处理设施中,因污水量少且分散,膜生物反应器紧凑设计完美契合场地需求,大幅节省占地面积,其污水处理能力强,对COD、NH₃-N、TP等污染物去除率达90%以上,出水水质优良,保护了生态景观,自动化运行还降低对专业人员的依赖,更便维护管理。然而,受处理规模所限,膜清洗和更换成本高,小型系统抗冲击负荷能力弱,水质水量波动会影响处理效果。为此,实际应用中需优化运行参数、强化预处理等措施来缓解这些问题,以提升小型膜生物反应器在分散式污水处理中的效能,更好地发挥其优势,保障污水处理的持续稳定与高效。

4.2 中型规模应用状况探究

在中型规模的应用情形探究方面,从处理工艺的角度来看,科学合理的反应器设计以及膜组件的选型操作,能够以稳定且高效的方式处理污水,针对COD、TN和TP的去除率能够维持在较高的水准,契合日益严苛的排放标准,为区域水环境质量的改良给予了坚实有力的保障。相较小型规模而言,中型规模的设施能够引入更为先进的自动化控制系统,结合传感器对水质水量的变化进行实时监测,精准地调控曝气量、污泥回流比等运行参数,进一步优化处理成效并降低能源的消耗。但伴随处理规模的逐步增大,膜污染问题愈发显著地呈现出来,需要配备更为完备的

膜清洗以及在线监测设备,同时优化生物处理单元的运行条件,以便维持膜的长期稳定运行状态,确保整个系统的可靠性与经济性,在满足环保要求的同时达成可持续发展的目标。

4.3 大型规模应用经验与难题

大型市政污水处理对城市可持续发展意义重大,膜生物反应技术在此规模应用中经验与挑战并存,超大型污水处理厂借助模块化设计和大规模膜组件集成,日处理污水数十万吨,保障水环境安全^[3]。运行管理上,完善的预处理系统、集中控制与智能运维平台,提升了系统稳定性与抗冲击能力,但大规模应用下,膜污染防控难,清洗耗费大量化学清洗剂与水资源,增加运行和环境成本。而且大型系统投资大,对设备可靠性和耐久性要求高,故障维修更换难度及成本大,因此在设备选型、安装调试及日常维护各环节,都要严控质量,保障系统长期稳定高效运行,以应对挑战,充分发挥该技术在大型污水处理中的优势。

表1 不同污水处理技术的去除效果对比

污水处理技术	COD去除率(%)	氨氮去除率(%)	总磷去除率(%)	残留污泥量(kg/m³)	出水水质(mg/L)	能耗(kWh/m³)	运行成本(元/m³)
膜生物反应器(MBR)	95	90	85	0.03	1.5	0.15	2.2
活性污泥法	80	75	70	0.1	5.2	0.25	1.5
高级氧化法	90	85	90	0.02	0.8	0.30	3.0
废水生态滤池	75	70	60	0.15	8.1	0.05	1.0
化学沉淀法	85	65	95	0.12	4.0	0.18	1.8
生物膜反应器	88	80	82	0.04	2.4	0.22	2.0

5 膜生物反应技术的进阶方向与策略

5.1 现存障碍深度洞察

膜污染问题是膜生物反应技术的关键难题,微生物、胶体和大分子有机物等在膜表面与孔内积累,导致膜通量降、阻力增,能耗及清洗成本攀升,严重影响系统稳定运行。且不同膜材料存在亲水性差、化学稳定性不足等性能缺陷,限制了技术拓展,使其在复杂污水工况下适应性欠佳;此外,该技术运行成本高,膜组件购置、更换及能耗费用阻碍了大规模普及,尤其对经济欠发达地区的污水处理项目而言,实现成本效益平衡极具挑战。因此,亟待深入探究解决膜污染、材料性能短板和高成本问题的有效方法,突破当前发展瓶颈,推动该技术的广泛应用和持续发展。

5.2 未来走向前瞻分析

展望未来,膜材料研发有望突破,新型智能响应膜将问世,借助纳米和仿生学技术,其抗污染性、通量和寿命更佳,能依污

水水质和工况自动调节性能,提升处理效率与稳定性。同时,随着物联网、大数据和人工智能的发展,膜生物反应系统将走向智能化,实时监测水质水量、膜污染及设备参数,使用智能算法精准调控曝气、清洗、回流等操作,实现自动化和优化,降低成本。在能源回收与可持续发展方面,将深挖与厌氧发酵、生物电化学等技术的融合潜力,使污水能源得以回收利用,让污水处理从耗能转向产能,顺应全球绿色低碳潮流,拓宽应用领域,展现广阔前景。

5.3 改进举措精准制定

在改进举措方面,应对膜污染需加强膜表面改性技术研究,运用物理化学法改变膜表面性质,如引入亲水性基团、构建抗污染涂层,减少污染物吸附;优化膜组件设计,采用错流过滤、气液两相流冲刷增强膜面剪切力,抑制污染物沉积,开发高效环保的清洗技术与清洗剂,降低成本与膜损伤。降低成本可从规模化生产与技术创新着手,降低膜组件制造成本,优化运行工艺,采用高效节能曝气设备与智能节能控制系统提高能源利用效率,减少能耗支出。同时,强化产学研合作,整合资源,加大对新型膜材料、智能运行技术及能源回收技术的研发投入,加速成果转化应用,为膜生物反应技术改进与推广提供支撑,推动其在污水处理领域的的新发展。

6 结语

膜生物反应技术在环境工程污水处理领域已彰显出独特价值与潜力,从原理剖析到膜材料甄别,从与其他技术协同到不同规模应用实践,各方面成果斐然,然而,现存的膜污染、成本高等问题不容忽视,亟待攻克。展望未来,随着科技进步,新型膜材料研发、智能化管理推进以及工艺优化整合加速,有望突破障碍,促使该技术在污水处理中效能持续提升,为全球水环境改善提供坚实技术保障,助力生态环境迈向新高度。

参考文献

- [1] 刘晗.膜生物反应技术在环境工程污水处理中的运用[J].清洗世界,2024,40(09):97–99.
- [2] 郑锦江.环境工程污水处理中的膜生物反应技术分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(15):19–21.
- [3] 冯琳玉.膜生物反应技术的要点及其在环境工程污水处理中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(14):11–13.

作者简介:

申芳(1987--),女,汉族,山西运城人,本科,现有职称:工程师。研究方向:环保。