

基于膜生物反应技术的环境工程污水处理分析

王赛荣¹ 张利益² 金灿³ 王凤怡¹ 董锹燕¹

(1. 杭州云珅检测科技有限公司, 浙江 杭州 310000;

2. 杭州华标检测技术有限公司, 浙江 杭州 310000;

3. 浙江连微环境有限公司, 浙江 杭州 310000)

【摘要】膜生物反应技术是一种新型污水处理技术, 其具有应用范围广、处理效果好、操作简单、成本较低等优势, 在环境工程污水处理中得到了广泛的应用。现阶段, 膜生物反应技术在污水处理中的应用尚处于初级阶段, 需要对其进行进一步的优化, 以满足环境工程的需求。基于此, 本文对环境工程污水处理特性及生物膜反应技术特性进行了分析, 并以此为基础探讨了膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用策略, 旨在为相关工作人员提供参考, 推动我国环境工程污水处理工作质量的提升。

【关键词】环境工程; 污水处理; 膜生物反应技术

引言

随着全球人口的不断增长和工业化进程的加速推进, 污水排放和水资源管理问题变得日益突出。污水中的各种有机物、重金属、微生物和其他污染物对环境 and 人类健康构成了严重威胁。寻找高效、可持续的污水处理技术成为当今环境工程领域的重要挑战之一。膜生物反应技术作为一种前沿、高效的污水处理方法, 近年来备受关注。其结合了生物降解和膜分离技术, 具有高效去除污染物、节约能源、减少化学药剂使用和减小处理系统的占地面积等诸多优点。本研究旨在深入探讨基于膜生物反应技术的环境工程污水处理策略, 以提高污水处理效率、降低环境负荷, 并为可持续水资源管理和环境保护提供科学依据。

一、环境工程污水处理特性分析

(一) 污水处理

污水处理过程是环境工程的核心环节, 其目标在于有效去除污水中的有机物、悬浮物和营养盐, 进而达到环境保护的标准。传统污水处理技术主要包括物理、化学和生物处理方法。物理方法通过筛分、沉淀等手段去除污水中的悬浮物; 化学方法则利用化学反应, 如氧化还原, 去除有害物质; 生物处理技术则通过微生物的代谢作用降解污水中的有机物。近年来, 随着科技的发展, 膜生物反应技术(MBR)作为一种新型的污水处理方法受到广泛关注。该技术将传统活性污泥法与膜分离技术相结合, 有效提高了污水处理效率, 且具有占地面积小、出水水质好、抗冲击负荷能力强等优点。然而, MBR技术在运行过

程中也存在一些问题, 如膜污染和运行成本相对较高, 这些问题的解决是当前MBR技术研究的热点。

(二) 污水特性

污水的特性直接影响着污水处理的效率和方法选择。污水主要由生活污水和工业污水两大类组成, 不同来源的污水其组成和性质差异显著。生活污水中含有大量的有机物、氮、磷等营养物质, 而工业污水则根据不同行业有着各自特定的污染物, 如重金属、有毒有机化合物等^[1]。这些污染物的种类和浓度的不同, 要求污水处理技术必须具有针对性和灵活性。例如, 含有重金属的工业污水需要通过化学沉淀等方法进行预处理, 以去除重金属; 含高浓度有机物的污水则更适用于生物处理技术。污水的温度、pH值、悬浮固体含量等物理化学性质也会影响处理过程。

二、膜生物反应技术特性分析

(一) 技术特点

膜生物反应技术(MBR)在环境工程领域的应用, 凭借其独特的技术特点, 实现了传统污水处理技术难以达到的高效处理效果。其最显著的特点之一是对污水中悬浮固体和微生物的高效拦截能力。这得益于MBR中使用的微孔膜过滤单元, 可以有效地隔离微米级及以上大小的颗粒, 包括细菌和大部分病毒, 从而显著提高出水的清洁度和安全性。这种膜过滤技术使MBR能在较小的占地面积内实现高效的水处理, 相比传统的活性污泥法等技术, MBR在同等处理效果下具有更高的空间利用率。MBR系统中的生物反应器能够维持较高的微生物浓度, 这不仅增强

了有机物的生物降解效率，还减少了污泥的产生量，降低了后续污泥处理的成本和环境影响。

（二）膜生物反应技术原理

在 MBR 系统中，生物处理是通过微生物对污水中的有机物进行吸附和降解来去除污染物。这一过程中，高微生物浓度的维持是关键，不仅提高了生物降解的效率，还加强了系统对污染物的处理能力。膜分离单元则通过物理过滤作用，拦截生物反应器中的微生物和悬浮固体，保证出水水质的高度纯净。MBR 技术的另一大优势是其膜组件的多样性和灵活性，不同的膜材料和孔径可以根据具体的污水特性和处理要求进行选择，从而实现对处理过程的精确控制。例如，对于含有较多高分子有机物或重金属离子的工业废水，可以选择更为精细的膜材料来实现更高效的去。

三、膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用策略

（一）工业污水的处理

由于工业污水的种类繁多，在实际应用过程中，需要结合具体情况，根据不同种类的污染物制定针对性的处理方案。针对工业污水中多样化的污染物质，MBR 技术需要精准选择和优化膜材料。工业废水通常含有复杂的有机化合物、重金属、高盐分以及悬浮颗粒物，这要求膜材料具有高度的选择性和稳定性^[2]。例如，对于含重金属的废水，采用纳滤或反渗透膜可以有效隔离重金属离子；而对于有机污染物较多的工业废水，则需要选择具有较高截留能力和抗有机物污染性能的膜材料。膜的孔径大小也需根据污水中悬浮颗粒的大小进行调整，以确保有效拦截同时减少膜面积的堵塞。生物反应系统的管理对于提高 MBR 技术在工业污水处理中的效率至关重要。在 MBR 系统中，生物反应器内微生物的活性直接影响污水中有机物的降解效率。因此，需优化生物反应器的操作条件，如温度、pH 值、溶解氧浓度和污泥龄等，以保持微生物群落的稳定和活性。对于高浓度有机污染物的处理，可能需要引入特定的微生物菌群以提高特定污染物的降解效率。需定期监测和调整微生物菌群结构，以应对工业废水成分的变化和系统运行条件的调整。对膜污染的控制是保证 MBR 系统长期稳定运行的关键。工业废水中的高浓度有机物、油脂、颗粒物等容易在膜表面形成污垢，导致膜的通量下降和处理效率降低。需要制定有效的膜清洗和维护策略。这包括定期进行物理清洗，如反冲洗和气体冲刷，以去除膜表面的颗粒物和生物污垢；以及定期进行化学清洗，

使用适当的清洗剂去除有机污染物和微生物黏附。

（二）居民生活污水的处理

在环境工程污水处理中，应该重视对居民生活污水的处理，提高废水处理水平。生物膜反应器的应用是居民生活污水处理中的关键环节。生物膜反应器是一种技术，通过将生物膜固定在膜表面或膜内，使其能够有效地去除污水中的有机物、氮、磷等污染物。这些生物膜具有高度的附着性和生物降解能力，能够将有机物分解成无害产物，并将氮、磷等营养物质去除，以确保排放水质符合环保标准。生物膜反应器的优点包括占地面积小、处理效率高、操作稳定等，适用于不同规模和类型的居民生活污水处理厂^[3]。在生物膜反应器中，污水通过膜表面，生物膜固定在膜上，形成生物附着膜。生物附着膜提供了丰富的生物附着界面，有助于微生物的生长和活性维持。微生物通过降解有机物质，同时还能够将氮化合物氨氮和硝态氮转化为氮气，将磷物质转化为无机盐或有机颗粒物。这些过程在生物膜反应器中同时进行，实现了多污染物的高效去除。优化设计是居民生活污水处理中膜生物反应技术的关键。反应器的设计涉及到污水进口、生物膜固定化系统、膜模块的布置以及废水出口等多个参数和结构方面的优化。合理的设计可以确保水流均匀分布，提高生物附着和降解效率。

（三）净化低污染饮用水

低污染饮用水的净化涉及多个关键方面，其中包括微孔滤膜、超滤膜、反渗透膜和高级氧化膜反应器等技术策略（见表 1）。膜生物反应技术是一种高效且经济的处理技术，在水处理领域也有着广泛应用。低污染饮用水中的微生物、胶体和颗粒物等杂质问题需要采用微孔滤膜或超滤膜进行截留和去除。这些膜的特点是具有微小的孔隙结构，孔径通常在 0.01 至 0.1 微米之间，足够小以阻止微生物和颗粒物的通透，同时允许水分子自由通过。微孔滤膜和超滤膜的应用可以有效提高水质，确保饮用水不受微生物污染的威胁，同时去除可见的悬浮颗粒物，保障水的清澈和透明。这些膜的操作原理涉及到纳滤和超滤过程，其中纳滤主要用于去除较大的颗粒物和胶体，而超滤则能更进一步去除微生物、细菌、病毒和有机胶体等微观杂质。膜的孔径选择通常基于目标污染物的尺寸和目标水质标准，以确保高效的净化。低污染饮用水中存在的溶解性有机物和无机物质也需要进行有效去除，这时候反渗透膜技术就成为了关键策略^[4]。反渗透膜是一种高度选择性的膜，在高压作用下将水分子从溶液中挤出，同时将溶解性污染物截留在

表 1 低污染饮用水净化技术性能对比表

技术	去除目标	主要原理和优势
微孔滤膜	微生物、颗粒物和胶体	孔隙结构微小，阻止微生物和颗粒物通透；提高水质净化效率；保障水的清澈和透明。
超滤膜	微生物、细菌、病毒	孔径小于微生物，去除微生物、胶体和颗粒物；提高水质纯净度；适用于污水中微观杂质去除。
反渗透膜	溶解性有机物和盐类	高选择性，只允许水分子通过；截留有机物、盐类和重金属等溶解性污染物；确保饮用水化学成分达标。
高级氧化膜反应器	微量有害物质	引入高级氧化技术，产生强氧化剂降解有害物质；消除饮用水中的微污染物；提高水质安全性。

膜表面。这种膜的孔隙足够小，只允许水分子通过，而拦截盐类、有机物质和重金属等污染物。反渗透膜的工作原理基于透过膜孔隙的水通量和对盐类和有机物的排斥。膜的孔隙足够小，仅允许水分子通过，而拒绝了溶解物质。这种选择性拦截的过程确保了饮用水的高度纯净和安全性。针对低污染饮用水中可能存在的微量有害物质，如药物残留、重金属和有机污染物，引入高级氧化膜反应器是一种有效策略。这类膜反应器结合光催化或电催化等高级氧化技术，能够在膜表面或膜内产生强氧化剂，将有害物质迅速降解为无害产物。这种技术的应用有助于消除饮用水中的微污染物，确保水质达到高水平的安全性和健康性。

（四）医院污水的处理

医院污水处理是环境工程领域中的一个关键课题，因其特殊性质，需要采用高度专业化和有效的技术手段，而膜生物反应技术提供了解决医院污水问题的多方面策略，涉及生物膜反应器、微孔滤膜 / 超滤膜和反渗透膜等技术。针对医院污水中的高有机物负荷问题，生物膜反应器被广泛应用。这一策略的核心在于通过将活性污泥或生物颗粒污泥固定在膜表面或膜内，实现生物污泥的高密度生长和附着，从而提高有机物的降解效率。这种生物膜反应器系统能够应对医院污水中存在的药物、抗生素、有机酸等难降解有机物，确保高效的有机物去除。生物膜反应器的工作机制涉及到生物附着、生物吸附、生物降解和微生物群落演化等复杂过程。在膜表面形成的生物膜不仅提供了优越的生物附着介质，还为微生物提供了生存环境，有助于维持生物多样性和生物降解能力。生物膜反应器的运行需要严格控制运行参数，如通气、温度、pH 值等，以维持膜表面的生物活性和稳

定性。医院污水中常含有微生物病原体，对公共卫生构成潜在威胁。微孔滤膜或超滤膜的使用变得至关重要。这些膜的微孔大小足够小，可以有效阻拦细菌、病毒和其他微生物，确保排放水质的微生物安全性。超滤膜还可用于拦截污水中的药物残留物，减少对环境的药物污染。微孔滤膜和超滤膜的工作原理是基于膜的孔隙大小选择性拦截微生物和大分子有机物。超滤膜的孔径通常在 0.01 至 0.1 微米之间，足以截留大多数微生物和有机分子，同时允许水分子通过。这种选择性拦截的过程确保了医院污水中的病原体去除，同时保留水分子，使得废水变得更为安全。

结语

膜生物反应技术在环境工程污水处理中表现出巨大潜力。从工业污水处理到居民生活污水，再到低污染饮用水和医院污水的处理，这项技术呈现多层次、多功能的优势。通过高效去除污染物、提高水质净化效率，膜技术为环境工程提供了创新的解决方案。这些应用策略的研究和实践为环境保护和可持续发展提供了坚实的基础，同时也为今后的技术改进和拓展开辟了广阔前景。

参考文献：

[1] 王海城. 基于膜生物反应技术的环境工程污水处理分析与思考 [J]. 低碳世界, 2022, 12(12): 52-54.

[2] 周康利. 浅析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, 2023, 4(5): 22-24.

[3] 胡艳. 膜生物反应技术在环境工程污水处理中的运用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(2): 22-24.

[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.