

城市生活污水处理厂中膜技术在水质提升中的应用探索

孙秀波

辽宁城建设计院有限公司

摘要：膜技术作为一种先进的污水处理技术，具有高效、节能和环保的优势，因此在城市污水处理中得到广泛应用。本文首先概述了城市生活污水的特点和组成，以及污水处理的重要性。然后介绍了膜技术的基本原理、分类和膜材料的选择和性能评价。接着详细阐述了膜技术在水质提升中的作用，并分析了膜技术在水质提升中面临的难点，包括膜污染问题、微污染物处理、膜材料选择和耐久性、能源消耗及大规模应用与运维管理等。最后提出了优化膜污染控制策略、强化微污染物处理技术、发展智能化运维管理技术等改进措施。通过综合应用这些改进措施，膜技术将持续在城市生活污水处理中发挥重要作用，实现水质提升和可持续发展目标。

关键词：城市生活污水处理；膜技术；水质提升

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.116

一、引言

膜技术作为一种新型的分离与过滤技术，具有优异的处理效果和灵活的应用方式，在城市污水处理领域备受关注。通过使用不同类型的膜，膜技术可以实现对污水中微小颗粒、有机物、重金属等污染物的高效去除。同时，膜技术还可以实现水资源的循环利用，减少对环境的影响。本论文旨在深入研究城市生活污水处理厂中膜技术的应用，探讨其在水质提升中的作用及面临的挑战，并对未来的发展趋势进行展望，为城市污水处理领域的可持续发展提供有益的参考。

二、城市生活污水处理厂概述

（一）城市生活污水特点和组成

城市生活污水是由居民、商业和工业活动产生的污水，通常包含废水、厨房污水、浴室污水和洗衣污水等多种成分。其特点在于复杂的组成成分和高度变化的流量。污水中常含有悬浮固体、有机物、氮、磷、重金属和微量有毒有害物质。其中，有机物和氮磷等营养物质是导致水体富营养化的主要原因，悬浮固体和微污染物则对水质造成直接影响。城市污水的处理对于保护水资源、维护生态平衡以及人类健康至关重要^[1]。

（二）污水处理的重要性

污水处理在现代城市的可持续发展中起着至关重要的作用。首先，经过适当处理的污水可以被回收再利用，降低城市对有限水资源的需求，缓解供水紧张局势。其次，污水处理可以有效地去除有害物质，减少水体污染，维护水体生态平衡，保护水生生物的生存环境。此外，合理处理污水还有助于防止水污染引起的疾病传播，维护公众健康。

（三）常见的污水处理技术

为了解决城市生活污水处理的问题，各国开发了多种污水处理技术。常见的污水处理技术包括物理处理、生物处理和化学处理等。物理处理通常包括筛网、沉淀池和沉淀池，主要用于去除污水中的悬浮固体和沉淀物。生物处理利用微生物降解有机物和氮磷等营养物质，常见的生物处理工艺包括活性污泥法、固定化生物膜法和膜生物反应器（MBR）等。化学处理主要用于去除污水中的重金属等有害物质，常见的化学处理方法包括吸附、沉淀和氧化等。综合运用这些处理技术，可以有效地提高城市生活污水处理效率和水质的提升。

三、膜技术概述

（一）膜技术的基本原理

膜技术是一种基于分离原理的高效污水处理技术，其基本原理是通过特定材料制成的薄膜，利用膜的微孔或孔隙，将污水中的悬浮固体、溶解性物质、有机物、重金属等污染物与水分子分离。膜的微孔或孔隙尺寸可以根据需要进行调整，使得不同大小和类型的污染物被截留在膜表面或膜内部，而净化的水分子则透过膜的微孔传递。膜技术具有高度选择性和高效率的特点，能够实现污水的高效处理和水质提升。

（二）膜技术分类与特点

膜技术根据不同的分离机制和膜材料可以分为多种类型。常见的膜技术包括微滤膜（MF）、超滤膜（UF）、纳滤膜（NF）、反渗透膜（RO）等。微滤膜的孔径较大，适用于去除较大的悬浮固体；超滤膜的孔径较小，可以去除细菌、蛋白质等较大分子；纳滤膜的孔径更小，能够去除溶解性盐类和有机物质；反渗透膜具有最小的孔径，可以高效去除溶解性离子和微污染物。膜技术具有高度的可控性和灵活性，能够根据不同的水质要求进行组合应用，达到多级处理和精细处理的目的。

（三）膜材料的选择和性能评价

膜材料是膜技术的关键组成部分，影响着膜的分离性能和稳定性。常用的膜材料包括聚醚砜（PES）、聚丙烯（PP）、聚醋酸纤维（CA）、聚酰胺（PA）等。选择合适的膜材料需要综合考虑其孔隙结构、疏水性、耐污染性、耐腐蚀性以及耐高温性等因素。膜性能的评价主要包括通量、截留率、膜污染倾向以及膜的稳定性等指标。通过对膜材料的选择和性能评价，可以优化膜技术的应用效果，实现高效、稳定和可持续的污水处理。

四、膜技术在水质提升中的作用

（一）提升悬浮固体去除效率

膜技术在水质提升中的一大作用是提高悬浮固体的

去除效率。传统的污水处理方法往往难以彻底去除微小悬浮固体，如颗粒物、胶体等，这些悬浮固体不仅会影响水体的透明度和外观，还可能携带着有机物和微生物等污染物，进一步加重水体的污染程度。膜技术通过微孔或孔隙的过滤作用，可高效去除悬浮固体，使出水中的悬浮物浓度显著降低。这有助于改善水体的透明度和水质外观，为后续的处理提供更清澈的水源。

（二）提升生物降解和去除效率

膜技术在水质提升中还起到了提升生物降解和去除效率的重要作用。膜生物反应器（MBR）是膜技术与生物处理相结合的典型应用。通过在膜生物反应器中将微生物与膜分离，有效地防止了微生物的泄漏和流失，保持了高浓度、高活性的生物群落，从而加速有机物的生物降解过程。膜技术使得生物污泥的滞留时间延长，提高了生物降解的效率，能够更彻底地去除水中的有机物、氮和磷等营养物质，从而有效降低水体的富营养化程度。

（三）有助于去除重金属和有机物

膜技术在水质提升中对于去除重金属和有机物也发挥着重要作用。由于膜的微孔尺寸较小，具有较好的截留能力，可以高效去除水中的重金属离子和微小颗粒。同时，一些有机物质在膜的表面或内部会发生吸附作用，使其被有效截留，从而降低水体中有机污染物的浓度。膜技术能够有效地减少重金属和有机物对水体的污染，提高出水质量，保护水生生物和人类健康。

五、膜污染与膜耐久性分析

（一）膜污染机制分析

膜污染是指在膜表面或膜内部，由于悬浮固体、胶体、有机物、微生物等污染物的吸附、堵塞或结垢等作用，导致膜的通量降低，截留性能下降，从而影响膜的正常运行。膜污染机制包括物理污染、生物污染和化学污染。物理污染主要是由于悬浮固体和胶体在膜表面沉积，形成污泥或泥垢；生物污染是由于微生物的附着和繁殖，形成生物膜；化学污染则是因为溶解性物质在膜表面析出或结晶形成污垢。膜污染的严重程度与膜材料、水质、运行条件等因素密切相关。解决膜污染问题是保证膜技术稳定高效运行的关键之一。

（二）膜污染的预防和控制

为了预防和控制膜污染，需要采取一系列有效措施。首先，采用合适的预处理工艺，包括筛网、沉砂池、调节池等，去除大部分悬浮固体和沉淀物，减少膜的负担，防止膜表面被堵塞。其次，优化膜的运行条件，如调整通水速度、控制污水进水浓度和温度等，避免在膜表面形成过高的压力和流速，减少物质在膜表面的吸附。同时，定期进行膜清洗和化学清洗，采用物理、化学和生物方法去除污垢和生物膜，恢复膜的通量和截留性能。此外，选择合适的膜材料和结构设计，提高膜的抗污染性和自清洁能力，也是有效预防和控制膜

污染的关键^[2]。

（三）膜寿命和维护管理

膜寿命和维护管理直接影响着膜技术的经济性和稳定性。膜寿命主要与膜材料的性能、膜污染的严重程度以及清洗和维护的频率等因素有关。一般情况下，合理的运行和维护可以延长膜的使用寿命。定期对膜进行清洗和维护，去除污垢和生物膜，是保持膜性能稳定的关键步骤。同时，及时检测膜的运行状态，监测膜的通量、截留率和压力等参数，对异常情况及时处理，也是延长膜寿命的重要措施。膜寿命的延长不仅降低了运营成本，还减少了更换膜元件的频率，提高了膜技术的可持续性和经济性。维护管理的科学规范对于膜技术的长期稳定运行和水质持续提升至关重要。

六、城市生活污水处理厂中膜技术在水质提升中的应用难点

（一）膜污染问题

膜技术容易出现膜污染，包括物理、生物和化学污染，导致膜的通量降低和截留性能下降。随着运行时间的增加，膜的污染程度逐渐加重，需要经常进行清洗和维护。膜污染不仅增加了运营成本，也影响了水质提升的稳定性和持续性。

（二）微污染物处理

随着社会发展，水体中出现了越来越多的微污染物，如药物残留、化学品和个人护理产品中的化合物等。这些微污染物具有高度的毒性和生物活性，对环境和生态系统产生潜在威胁。膜技术虽然可以高效去除一部分微污染物，但某些微污染物的去除效率仍然有限，其降解和去除存在技术上的挑战。

（三）膜材料选择和耐久性

膜材料的选择对于膜技术的应用效果至关重要。不同膜材料具有不同的特性，包括孔隙结构、抗污染性、耐腐蚀性等。在复杂的城市生活污水处理环境中，膜材料可能会受到水质波动、污染物浓度和温度等因素的影响，需要选择具有较好耐久性的膜材料，以保证膜技术的长期稳定运行。

（四）能源消耗与经济性

膜技术在城市生活污水处理中对能源的需求较大，特别是反渗透膜的应用需要较高的压力和能耗。膜技术的高能耗可能导致处理成本较高，影响其在大规模应用中的经济性。因此，如何降低膜技术的能源消耗，提高其经济性，是当前需要解决的重要问题。

（五）大规模应用与运维管理

在实际城市生活污水处理厂的大规模应用中，需要考虑膜技术的规模化问题。膜技术的运维管理需要专业的技术人员和完善的管理体系，包括膜清洗、膜更换、运行监测等。大规模应用中还需要应对污水水质的波动和季节性变化，以确保膜技术在复杂的实际环境下的稳定运行和水质提升效果。这需要综合考虑技术、管理和经济等方面的因素，实现膜技术在城市生活污水处理中

的可持续应用。

七、城市生活污水处理厂中膜技术在水质提升中的应用改进措施

(一) 创新膜材料与结构设计

创新膜材料与结构设计是城市生活污水处理厂中膜技术在水质提升中的重要改进措施。通过不断探索和研发新型膜材料,以及优化膜的结构设计,可以有效提高膜技术的分离性能、抗污染性和耐久性,进一步提升水质处理效果和减少运营成本。在膜材料方面,研发具有高选择性和高通量的新型膜材料是改进的关键。例如,新型纳米复合材料膜在微污染物的去除和抗污染性方面表现出优势。聚醚砜(PES)材料的膜通过改变其孔隙结构,增加其通量和抗污染能力,适用于处理高浓度污水。同时,利用多层膜结构或多孔膜设计,可增加膜的有效面积,提高水质处理效率。除了材料本身,膜的结构设计也至关重要。例如,膜的孔径和孔隙率可以根据污水中的污染物大小和类型进行调整,以实现针对性的去除效果。兼顾膜通量和截留性能,优化膜模块的布局 and 堆叠方式,有助于提高膜系统的运行效率。

(二) 优化膜污染控制策略

优化膜污染控制策略是为了解决膜技术在城市生活污水处理中面临的污染问题,提高膜的运行稳定性和水质处理效果。首先,合理的预处理是防止膜污染的重要环节。通过筛网、沉砂池等预处理工艺,去除大部分悬浮固体和沉淀物,减轻膜的负担,降低膜污染的风险。其次,根据不同的污染类型,采取适当的清洗和维护措施。物理污染可以通过反冲洗和超声清洗等方式去除,生物污染可通过间歇性通水和化学清洗等方法控制,化学污染则需要进行适当的化学清洗和再生处理。此外,通过控制膜的运行条件,如调整通水速度、温度和压力等,降低污染物在膜表面的吸附和沉积,有效减缓膜污染的速率。优化膜污染控制策略能够提高膜技术的稳定性和持续运行能力,确保水质提升的效果。

(三) 强化微污染物处理技术

强化微污染物处理技术是针对城市生活污水中存在的微量有机物和微污染物等难降解物质的处理而采取的改进措施。常规的污水处理工艺难以彻底去除微污染物,这些物质可能对水环境和生态系统产生潜在风险。膜技术作为一种高效的微污染物去除方法,可以实现对微量有机物、微量药物、个人护理产品中的化合物等微污染物的有效去除。在城市生活污水处理厂中,可以通过膜生物反应器(MBR)、反渗透膜(RO)等膜技术,将污水中的微污染物有效截留和去除。此外,也可以结合其他附加技术,如活性炭吸附、高级氧化技术等,对特定微污染物进行进一步处理。强化微污染物处理技术的应用将有助于保护水体生态安全和公众健康,实现城市生活污水处理厂水质提升的全面改进^[3]。

(四) 提高膜系统的能源效率

膜技术在污水处理中通常需要耗费较多的能源,特

别是反渗透膜(RO)等高压操作的膜系统。为了减少运营成本和环境影响,需要采取一系列措施来提高膜系统的能源效率。通过调整通水速率、温度和压力等参数,可以实现膜系统的最佳运行状态,达到最大通量和最高的去除效率。此外,采用低压力和低能耗的膜技术,如低压微滤膜(MF)和超滤膜(UF),也是提高能源效率的有效途径。另外,选择合适的膜材料和膜结构也有助于提高膜系统的能源效率。采用具有低能耗特性的膜材料,并优化膜模块的设计和布局,能够降低膜系统的阻力和压降,减少能源消耗。例如,一些新型纳米复合材料膜材料具有较高的通量和抗污染能力,可以在低压力下运行,降低了膜系统的能源消耗。

(五) 发展智能化运维管理技术

发展智能化运维管理技术是城市生活污水处理厂中膜技术应用的重要发展方向。智能化运维管理技术利用先进的信息技术和数据分析手段,对膜技术运行状态进行实时监测、预测和优化,以实现智能化的运营管理,提高运行效率和水质处理效果。通过安装传感器和监测设备,可以实时获取膜系统的运行数据,包括通量、压力、温度等参数,以及膜污染程度和清洗状态等信息。这些数据可以通过云平台进行集中管理和分析,运用人工智能和大数据技术,可以预测膜系统的运行状况,及时发现潜在故障,并提供相应的预警和建议,帮助运维人员及时采取措施,减少故障和停机时间,确保膜技术的稳定运行。一些城市生活污水处理厂已经引入了智能化运维管理系统。该系统通过与膜系统连接,实时监测膜的运行状况,对膜污染进行在线监测和预警,同时根据实时数据进行运行参数的优化调整和清洗策略的选择。

八、结论

综上所述,城市生活污水处理厂中膜技术在水质提升中发挥着重要的作用。膜技术通过高效去除悬浮固体、提升生物降解和去除效率、减少重金属和有机物污染、处理微污染物等方面,有效改善了水体的质量。然而,膜技术在应用过程中仍面临膜污染、微污染物处理、能源消耗等难题。为此,应不断创新膜材料与结构设计,优化膜污染控制策略,强化微污染物处理技术,提高膜系统的能源效率,以及发展智能化运维管理技术。通过综合应用这些改进措施,膜技术在城市生活污水处理中将持续发挥重要作用,实现水质提升和可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 武志强. 化工废水处理中膜技术的应用探讨[J]. 节能, 2020, 39(10): 107-108.
- [2] 刘璐. 化工污水处理中膜技术的应用[J]. 化工管理, 2018, (03): 61.
- [3] 杨磊. 膜技术在水处理中的应用与发展研究[J]. 环境与生活, 2014, (22): 149-150.