

超滤膜技术在水污染防治工程中的应用

付亚云

(河北省承德市生态环境局兴隆县分局, 河北 承德 067399)

摘要 随着我国工业化进程加快与城市化水平提升, 水体污染问题日益突出, 水污染防治成为生态环境保护的核心任务之一。超滤膜技术凭借其截留精度高、分离效率优、操作简便且无二次污染等优势, 在水污染防治工程中得到广泛应用与推广。本文梳理了超滤膜技术的常用类型及技术特征, 结合实际工程场景分析了该技术在不同水污染治理领域的具体应用, 有针对性地提出优化超滤膜技术应用效果的实操措施, 以期为提升水污染防治工程质量、推动水环境治理技术升级提供参考。

关键词 超滤膜技术; 水污染防治; 膜污染控制; 净水处理

中图分类号: X52

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.06.037

0 引言

水环境是生态系统的重要组成部分, 直接关系到人类健康与社会可持续发展。当前, 工业废水排放、生活污水渗漏、农业面源污染等多重因素叠加, 导致水体中悬浮物、胶体颗粒、微生物及部分有机物含量超标, 传统水处理技术难以实现高效净化。超滤膜技术作为一种新型膜分离技术, 以压力差为驱动力, 通过膜的筛分作用截留水中污染物, 可有效去除水中粒径在 $0.001 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 范围内的杂质, 相较于沉淀、过滤等传统工艺, 具有净化效果稳定、占地面积小、操作流程简便等特点。近些年, 该技术在饮用水净化、工业废水处理、污水处理回用等水污染防治工程中逐步实现规模化应用, 但其在实际运行中仍面临膜污染、运行成本偏高、膜清洗不规范等问题, 制约了技术优势的充分发挥。基于此, 本文系统分析超滤膜技术的类型与应用场景, 探索技术优化路径, 旨在为水污染防治工程中超滤膜技术的高效应用提供实践指导, 助力水环境质量持续改善。

1 超滤膜技术的常用类型

1.1 双膜净水处理技术

双膜净水处理技术先是运用超滤膜对水中的悬浮物、胶体、微生物以及大分子有机物进行截留, 以此降低进水的浊度和污染物含量, 从而为后续反渗透膜的运行提供优质进水, 避免反渗透膜因污染物附着出现堵塞情况, 进而延长反渗透膜的使用寿命。双膜技术所具备的优势体现在净化精度高这一方面, 能够有效去除水中的溶解性盐类、重金属离子以及微量有机

污染物, 使出水水质达到饮用水标准或者工业回用要求。在实际工程应用场景当中, 双膜技术大多采用“超滤+反渗透”的组合流程, 通过对两级膜运行参数的优化, 达到时处理效率与能耗的平衡^[1]。像在海水淡化和苦咸水净化工程里, 双膜技术可以有效降低原水的含盐量, 让出水能够满足工业生产和生活用水的需求; 而在高浓度有机废水处理工作中, 该技术则能够实现水资源的循环利用, 提升废水的资源化利用率。

1.2 超滤净水处理技术

超滤净水处理技术是单一依靠超滤膜实现水质净化的基础技术, 以压力差为驱动力, 通过膜的多孔结构对水中污染物进行筛分截留。该技术的核心在于超滤膜的选择, 根据膜材料可分为有机超滤膜与无机超滤膜, 有机膜以聚偏氟乙烯、聚丙烯腈等为原料, 具有柔韧性好、成本较低的特点; 无机膜以陶瓷、金属氧化物为原料, 具备耐高温、耐酸碱、机械强度高的优势, 可适配复杂水质环境。超滤净水处理技术操作流程简单, 无需添加化学药剂, 避免了二次污染, 适用于饮用水预处理、生活污水深度处理及工业废水预处理等场景。在饮用水净化工程中, 该技术可替代传统砂滤工艺, 有效去除水中细菌、病毒及悬浮物, 提升饮用水安全性; 在工业废水预处理中, 可截留废水中的大分子有机物与固体颗粒, 为后续生化处理环节减轻负荷, 提升整体处理效率。

1.3 短流程净水处理技术

短流程净水处理技术是基于超滤膜技术优化形成的高效处理工艺, 通过简化传统水处理流程, 将混凝、

作者简介: 付亚云 (1975-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 环境保护。

沉淀与超滤膜过滤环节有机融合,减少工艺步骤与占地面积。该技术摒弃了传统工艺中复杂的沉淀池、过滤池设计,采用“混凝+超滤”的紧凑流程,通过投加少量混凝剂破坏水中胶体颗粒的稳定性,形成微小絮体,再经超滤膜截留絮体及其他污染物,实现水质快速净化。短流程技术的突出优势是处理周期短、占地面积小、基建成本低,适用于中小型水厂、农村饮用水净化及应急供水工程。在农村水环境治理中,该技术可针对分散式生活污水及地表水进行处理,无需复杂的土建工程,设备可模块化组装,便于运维管理;在应急供水场景中,短流程超滤技术可快速响应,在短时间内实现原水净化,保障供水安全。

2 超滤膜技术在水污染防治工程中的应用

2.1 饮用水净化工程中的应用

传统饮用水净化工艺多采用“混凝—沉淀—过滤—消毒”流程,对水中微生物、胶体颗粒的去除效果有限,且易产生消毒副产物。超滤膜技术可直接截留水中细菌、病毒、藻类及大分子有机物,去除率可达99%以上,同时无需大量投加混凝剂与消毒剂,减少消毒副产物的生成。在实际应用中,针对不同原水水质,可采用超滤膜单一工艺或与预处理、消毒工艺组合使用^[2]。例如:在地表水作为水源的水厂中,采用“预处理+超滤+紫外线消毒”工艺,可有效去除原水中的藻类、悬浮物及微量有机物,出水浊度控制在0.1 NTU以下;在农村分散式饮用水工程中,采用小型超滤膜设备,可实现原水的就地净化,解决农村饮水安全问题。此外,超滤膜技术还可用于老旧水厂的工艺升级改造,通过替换传统过滤环节,在不扩大占地面积的前提下,大幅提升出水水质。

2.2 工业废水处理工程中的应用

工业废水成分复杂、污染物浓度高、毒性强,传统处理工艺难以实现达标排放,超滤膜技术可针对不同行业废水特性,设计专属处理方案,实现废水净化与资源化利用。在化工废水处理中,化工废水中含有大量大分子有机物、悬浮物及重金属离子,采用超滤膜技术作为预处理环节,可截留废水中的悬浮颗粒与大分子有机物,降低废水COD与浊度,为后续生化处理或深度处理提供保障。例如:在农药废水处理中,通过超滤膜预处理可去除废水中的农药残留大分子,提升后续生化处理的降解效率,最终实现达标排放。在食品加工废水处理中,超滤膜技术可回收废水中的蛋白质、多糖等有用物质,同时实现废水净化。以乳制品废水处理为例,采用超滤膜技术可截留废水中的

乳蛋白,回收的乳蛋白可二次利用,处理后的废水经进一步处理可实现循环回用,既降低了污染物排放,又提升了资源利用率。在印染废水处理中,超滤膜技术可有效去除废水中的染料颗粒与悬浮物,减少废水色度,为后续脱色处理减轻负荷,同时可回收废水中的部分染料,实现资源回收。

2.3 污水处理回用工程中的应用

污水处理回用是缓解水资源短缺的重要途径,超滤膜技术可实现污水处理后的深度净化,使出水满足工业回用、市政杂用等需求,提升水资源循环利用率。当前,我国城市污水处理厂多采用生化处理工艺,出水虽能达标排放,但水质难以满足回用要求,而超滤膜技术可作为污水处理回用的深度处理环节,有效去除生化出水中的悬浮物、胶体、微生物及部分有机物。在城市污水处理回用工程中,常采用“生化处理+超滤+消毒”工艺,处理后的出水可用于城市绿化、道路清扫、工业冷却用水等。例如:某城市污水处理厂采用该工艺,处理后出水浊度 ≤ 0.5 NTU, COD ≤ 30 mg/L,满足工业冷却用水标准,每年可节约新鲜水资源数十万吨。在工业园区污水处理回用工程中,采用“超滤+反渗透”双膜技术,可实现废水的深度净化,出水水质达到工业生产工艺用水要求,实现工业园区内水资源的循环利用,降低企业用水成本。此外,超滤膜技术还可用于再生水补给地下水工程,通过深度净化去除再生水中的污染物,避免对地下水环境造成影响。

2.4 农业面源污染治理中的应用

农业面源污染具有分散性、隐蔽性、随机性等特点,治理难度较大,超滤膜技术可针对农业养殖废水、农田退水等进行针对性处理,减少农业污染物对水体的影响。在畜禽养殖废水处理中,养殖废水中含有大量悬浮物、有机物、氮磷及病原体,直接排放会造成水体富营养化与污染^[3]。采用超滤膜技术处理养殖废水,可先通过预处理去除大量悬浮固体,再利用超滤膜截留废水中的胶体颗粒、微生物及大分子有机物,降低废水COD、BOD及氮磷含量,处理后的废水可用于农田灌溉,实现资源化利用。例如:在规模化养猪场废水处理中,采用“厌氧发酵+好氧处理+超滤”工艺,处理后废水氮磷含量满足农田灌溉标准,同时可回收沼气作为能源,实现污染物的减量化与资源化。在农田退水处理中,农田退水中含有大量化肥、农药残留及悬浮物,采用超滤膜技术可有效去除退水中的悬浮物与部分农药残留,降低对受纳水体的污染。针对分散式农田退水,可采用小型化、模块化超滤膜设备,实现就地处理、就地回用,提升农业面源污染治理效率。

3 在水污染防治工程中优化超滤膜技术的措施

3.1 做好超滤膜的清洗工作

在超滤膜的长期运行进程中,污染物的附着与沉积会造成膜污染问题,进而对处理效率和膜的使用寿命产生影响,而规范开展膜清洗工作则是保障该技术稳定运行的关键所在。膜清洗需要依据污染的类型和程度,将物理清洗和化学清洗这两种方式结合起来,以此避免单一清洗方式对膜造成损伤^[4]。物理清洗主要采用水力冲洗的方式,通过反向冲洗、错流冲洗等手段,把膜表面附着的松散污染物去除掉。在实际操作时,能够根据膜运行压力的变化来对冲洗参数进行调整,当膜通量下降 10%~15% 时,就启动反向冲洗,将冲洗压力控制在 0.1~0.2 MPa,冲洗时间设定为 5~10 分钟,借助水流的冲击力把膜表面的污染物剥离下来。对于顽固的污染物,需要采用化学清洗的方式,根据污染类型挑选合适的化学药剂,防止药剂对膜材料产生腐蚀作用。针对有机污染情况,可以使用浓度控制在 0.5%~1.0% 的碱性清洗剂(氢氧化钠溶液等)进行浸泡,浸泡时间为 30~60 分钟;针对无机污染情况,可采用浓度控制在 0.3%~0.5% 的酸性清洗剂(柠檬酸溶液等)浸泡,浸泡之后用清水冲洗,直至膜性能恢复。

3.2 有效控制膜污染

膜污染的防控应坚持“预防为主、治理为辅”的原则,通过预处理优化、运行参数调控、进水水质控制等手段,从源头减少污染物在膜表面的沉积。预处理环节需根据进水水质特点,增设针对性预处理工艺,降低进水污染物含量。对于高浊度原水,可增设混凝、沉淀预处理,去除水中大量悬浮物与胶体颗粒;对于含有油类污染物的废水,可增设隔油池、气浮池预处理,避免油类物质附着在膜表面。运行参数调控是控制膜污染的重要手段,需根据处理水量、水质变化,优化跨膜压力、错流速度等参数。跨膜压力应控制在膜材料耐受范围内,避免压力过高导致污染物挤压进膜孔;错流速度需合理调整,通过提升水流剪切力,减少污染物在膜表面的沉积,一般控制在 1~3 m/s^[5]。此外,可在进水中投加适量的阻垢剂、杀菌剂,抑制微生物繁殖与水垢生成,减少生物污染与无机污染。同时,加强进水水质监测,当进水水质出现异常(浊度、COD 骤升)时,及时调整运行参数或暂停运行,避免膜污染加剧。

3.3 改进超滤膜技术

技术升级的核心在于膜材料的改进,对高性能且低成本的超滤膜材料展开研发,能够让膜的抗污染性、

机械强度以及使用寿命得到提升。比如,借助改性处理对有机超滤膜的表面结构进行优化,以此增强膜的亲水性,进而减少污染物的吸附;对新型复合超滤膜进行研发,将不同膜材料的优势相结合,从而实现净化效率与抗污染能力的同步提升。工艺组合的优化需要与不同的水污染治理场景相结合,设计出高效又节能的复合工艺。面对高浓度有机废水,可采用“高级氧化+超滤”的复合工艺,通过高级氧化技术对大分子有机物进行降解,以此降低超滤膜的污染负荷;针对低温低浊水,可采用“超声辅助超滤”工艺,利用超声的空化效应去除膜表面的污染物,进而提升膜通量。除此之外,智能化技术的融合能够实现超滤膜系统的精准运维,通过安装在线监测设备,对膜通量、跨膜压力、出水水质等参数进行实时监测,建立智能化运维平台,实现运行参数的自动调节以及故障预警,减少人工干预的同时,降低运维成本。

4 结束语

在水污染防治工程中,超滤膜技术以高效的净化能力和灵活的应用场景为依托,于饮用水净化、工业废水处理、水资源循环利用等领域起着重要作用,为水环境质量的改善提供了有力支撑。在实际工程应用当中,超滤膜技术的应用需将进水水质、处理目标、运行成本等因素结合起来,对工艺设计与运行参数进行优化,有针对性地解决膜污染等核心问题,使技术优势得以充分发挥。未来,随着膜材料研发、工艺创新与智能化技术的不断进步,超滤膜技术将朝着高效、节能、低成本、模块化的方向发展,在水污染防治工程中的应用场景将进一步拓展,为推动生态环境保护与水资源可持续利用提供更加有力的技术支撑。同时,需加强超滤膜技术的工程实践研究,积累更多实操经验,完善技术标准与运维规范,促进技术的规模化、规范化应用,助力打赢水污染防治攻坚战。

参考文献:

- [1] 张莉,吴春瑞.浅析超滤膜技术在水污染处理中的相关运用[J].皮革制作与环保科技,2023,04(23):18-20.
- [2] 王伟,陈晓芳.超滤膜技术在水污染处理过程中的应用[J].清洗世界,2022,38(04):1-3.
- [3] 庄辉.浅谈超滤膜技术在环境工程水处理中的应用[J].新型工业化,2020,10(08):129-130.
- [4] 楼家渊.超滤膜技术在环境工程水处理中的应用[J].皮革制作与环保科技,2022,03(13):21-23.
- [5] 许超.环境工程水处理中超滤膜技术的应用分析[J].环境与发展,2020,32(06):102-103.