

废水处理中的膜技术应用与能效优化

杜锦辉

445381*****2139

摘要:本文聚焦废水处理中的膜技术应用与能效优化,结合环保行业水资源循环利用需求展开研究。先梳理膜技术在不同废水净化、常见膜材料应用、资源化回收等方面现状,明确现有实践的基础与局限;再剖析运行能耗高、膜污染频发、工艺整合弱等核心问题;接着阐述其在净化精度、资源回收、流程简化中的优势;随后从材料研发、污染控制、工艺整合维度提出能效优化路径;最后分析高性能材料、智能调控、低碳工艺等发展趋势。研究旨在为废水处理行业节能降耗、提升资源利用效率提供参考。

关键词:废水处理;膜技术;能效优化;应用现状;发展趋势

DOI: 10.69979/3060-8767.25.10.085

引言

随着全球水资源短缺与水污染问题持续加剧,废水资源化处理成为环保行业实现可持续发展的重要方向。膜技术作为新型分离技术,凭借分离效率高、出水质稳定、操作流程简便等特点,在工业废水(如化工、电子废水)、市政生活污水、农业废水等处理领域的应用日益广泛。然而,当前膜技术在废水处理实践中仍面临突出问题,如运行过程中能耗较高、膜污染现象频繁发生、整体运行成本偏高,这些问题严重制约了膜技术的规模化推广与能效提升。

1 废水处理中膜技术的应用现状

1.1 膜技术已初步应用于不同类型废水的净化处理

在废水处理领域,膜技术已初步应用于不同类型废水的净化处理工作。针对工业废水,膜技术可有效去除水中的重金属离子、有机污染物等,如处理化工废水时,通过膜分离去除废水中的酚类、胺类等有毒物质;处理电子废水时,可截留水中的悬浮物与溶解性盐类,保障后续处理达标。针对市政生活污水,膜技术常用于深度处理环节,去除污水中的COD、氨氮、总磷等污染物,使出水达到再生水标准。

1.2 常见膜材料在废水处理中广泛使用

超滤膜、反渗透膜等常见膜材料,在废水处理中已实现广泛使用。超滤膜凭借孔径较小的特点,可有效截留水中的胶体、悬浮物、大分子有机物,常用于废水的预处理或深度处理阶段,如在市政污水深度处理中,超滤膜可作为反渗透膜的前置处理单元,降低后续膜污染风险。反渗透膜因能截留水中绝大部分溶解性盐类与小

分子有机物,在高盐废水处理中应用较多,通过反渗透处理可实现废水的脱盐与资源化回收。

1.3 膜技术在废水资源化回收场景中初步落地

在废水资源化回收场景中,膜技术已实现初步落地,其中中水回用是典型应用方向。在住宅小区、商业综合体等场所,通过膜技术处理市政再生水或生活污水,去除水中的杂质与污染物,使出水达到绿化灌溉、道路冲洗、toilet用水等中水回用标准,实现水资源循环利用。在工业领域,膜技术可对生产废水进行深度处理,回收水中的有用物质,同时使处理后的废水回用于生产环节,减少新鲜水用量。

2 废水处理中膜技术应用存在的问题

2.1 膜技术运行能耗较高,与低碳处理需求适配性不足

当前,膜技术在废水处理中的运行能耗较高,与行业低碳处理需求的适配性不足。膜分离过程中,为实现废水的有效过滤与分离,需消耗大量电能维持系统压力、驱动水流通过膜组件,尤其是反渗透膜等高压操作膜技术,能耗水平显著高于传统处理工艺。在低碳发展背景下,高能耗导致膜技术的运行成本上升,同时增加了碳排放,不符合环保行业绿色低碳的发展方向。

2.2 膜污染问题频发,导致膜组件寿命缩短与运行成本上升

膜污染问题在膜技术应用中频繁发生,成为制约膜技术稳定运行的重要因素。废水成分复杂,其中的悬浮物、胶体、有机物、微生物等易附着在膜表面或堵塞膜孔,形成膜污染。膜污染会导致膜通量下降、过滤阻力增加,为维持处理效率需提高系统操作压力,进一步增

加能耗；同时，膜污染会缩短膜组件的使用寿命，需频繁更换膜组件，大幅提升运行成本。

2.3 膜技术与传统处理工艺整合度低，整体处理效率受限

膜技术与传统废水处理工艺的整合度较低，导致整体处理效率受限。传统处理工艺（如活性污泥法、厌氧消化法）在废水预处理、有机物降解等方面具有优势，但存在出水水质不稳定、难以去除小分子污染物等不足；膜技术虽能实现深度处理，但对进水水质要求较高，若直接处理高浓度废水易引发膜污染。当前，多数项目中膜技术与传统工艺的结合较为简单，仅将膜技术作为末端处理单元，未实现两者的深度协同与流程优化。例如，传统工艺的出水未经过针对性预处理直接进入膜系统，导致膜污染风险增加；膜技术的处理效果未反哺传统工艺的运行调整，无法形成高效协同的处理体系，影响整体处理效率与能耗控制。

3 废水处理中膜技术的核心优势

3.1 提升废水净化精度，确保出水水质达标且稳定

膜技术在提升废水净化精度方面具有显著优势，能确保出水水质达标且稳定。膜组件具有精准的分离性能，可根据废水处理需求，截留不同粒径的污染物，无论是水中的悬浮物、胶体、大分子有机物，还是溶解性盐类、重金属离子等，都能通过合适的膜技术实现高效去除。与传统处理工艺相比，膜技术受进水水质波动的影响较小，即使废水成分发生变化，仍能保持稳定的过滤效果，使出水水质持续满足国家或地方的排放标准，或达到再生水回用要求。例如，在处理成分复杂的工业废水时，膜技术可有效控制出水的污染物浓度，避免因水质不达标导致的排放风险，保障处理效果的稳定性。

3.2 实现废水资源回收，助力水资源循环利用

膜技术能有效实现废水资源回收，为水资源循环利用提供有力支撑。通过膜分离过程，不仅可去除废水中的污染物，还能回收水中的有用物质或使处理后的废水达到回用标准。在工业废水处理中，膜技术可回收废水中的溶剂、贵金属、水资源等，减少资源浪费，降低企业生产成本；在市政污水处理中，膜技术深度处理后的废水可作为中水回用于绿化、灌溉、工业冷却等领域，替代新鲜水资源，缓解水资源短缺压力。此外，在海水淡化、苦咸水处理中，膜技术可将不可直接利用的水资源转化为淡水，进一步拓展水资源利用范围，推动水资源循环利用体系的构建。

3.3 简化处理工艺流程，减少占地面積与二次污染

膜技术能简化废水处理工艺流程，同时减少处理系统的占地面積与二次污染。传统废水处理工艺通常需要多个处理单元（如沉淀池、过滤池、消毒池等）协同运行，流程复杂、操作环节多；而膜技术可通过单一或少数几个膜分离单元，实现多种污染物的同步去除，大幅简化处理流程，减少操作难度与管理成本。膜技术处理系统的设备结构紧凑，所需占地面積远小于传统处理工艺，尤其适用于土地资源紧张的城市或工业园区。此外，膜技术处理过程中产生的污泥量较少，减少了污泥处置带来的二次污染问题；同时，部分膜技术无需使用大量化学药剂，进一步降低了化学污染风险，符合环保行业清洁处理的发展需求。

4 废水处理中膜技术的能效优化路径

4.1 研发低能耗膜材料与组件，降低技术运行基础能耗

研发低能耗膜材料与组件，是降低膜技术运行基础能耗的关键路径。在膜材料研发方面，可通过改进材料结构（如制备高孔隙率、低阻力的膜材料）、优化材料性能（如提升膜的亲水性、减少过滤阻力），降低水流通过膜组件所需的操作压力，从而减少能耗。在膜组件设计方面，可开发高效的膜组件结构（如中空纤维膜组件、平板膜组件的优化设计），提升膜组件的填充密度与传质效率，使单位体积膜组件的处理量增加，降低单位水量的能耗。例如，研发的低阻力超滤膜材料，在相同处理水量下，所需运行压力显著低于传统膜材料，可有效降低系统的电能消耗，为膜技术的低能耗运行奠定基础。

4.2 优化膜污染控制策略，减少清洗能耗与组件更换成本

优化膜污染控制策略，能有效减少膜清洗能耗与组件更换成本，实现能效提升。可从预处理、运行过程调控、清洗方式优化三个方面入手：预处理阶段，通过混凝、吸附、过滤等工艺去除废水中易引发膜污染的物质，降低膜污染风险；运行过程中，采用错流过滤、脉冲操作等方式，减少污染物在膜表面的附着与沉积；清洗方式上，优先采用物理清洗（如反冲洗、气洗）替代化学清洗，减少化学药剂使用与能耗，同时延长膜组件寿命。例如，在膜系统运行中，定期采用反冲洗工艺去除膜表面的污染物，可有效维持膜通量，减少因膜污染导致的压力升高与能耗增加，降低膜组件的更换频率与成本。

4.3 推动膜技术与节能工艺（如厌氧处理）整合，提升整体能效

推动膜技术与节能工艺的整合，能实现处理系统整体能效的提升。厌氧处理工艺是典型的节能工艺，在处理高浓度有机废水时，不仅能降解有机物，还能产生沼气（可再生能源），为系统提供能源支持。将膜技术与厌氧处理工艺整合（如厌氧膜生物反应器），可利用厌氧处理工艺降解大部分有机物，降低后续膜技术的处理负荷与能耗；同时，厌氧处理产生的沼气可用于发电，为膜系统运行提供电能，进一步减少外部能源输入。此外，还可将膜技术与太阳能、风能等可再生能源利用工艺整合，通过可再生能源为膜系统供电，降低对传统化石能源的依赖，实现处理系统的低碳运行与能效优化。

5 废水处理中膜技术与能效优化的发展趋势

5.1 向高性能膜材料方向发展，提升分离效率与抗污染能力

未来，膜技术将向高性能膜材料方向发展，进一步提升膜的分离效率与抗污染能力。通过先进的材料制备技术（如纳米复合膜制备技术、界面聚合技术），开发具有高分离精度、高通量、高亲水性的膜材料，使膜技术在处理低浓度、难降解废水时仍能保持高效分离性能。同时，通过在膜材料表面修饰抗污染涂层（如亲水性涂层、抗菌涂层），提升膜材料的抗污染能力，减少污染物在膜表面的附着，延长膜组件寿命，降低运行成本。例如，研发的纳米复合反渗透膜材料，不仅分离效率显著提升，还具有优异的抗污染性能，可适用于更复杂的废水处理场景，推动膜技术的广泛应用。

5.2 融合智能化调控技术，实现膜系统运行的精准能耗管控

融合智能化调控技术，是膜系统运行精准能耗管控的重要发展趋势。可利用物联网技术实时采集膜系统的运行参数（如膜通量、操作压力、进水水质、能耗数据等），通过大数据分析技术对运行数据进行处理与分析，识别系统运行中的能耗异常点与优化空间。引入人工智能算法（如机器学习、深度学习），建立膜系统运行的能耗预测模型与优化控制模型，根据进水水质变化、处理需求调整系统运行参数（如操作压力、流量），实现膜系统的自适应运行与精准能耗管控。例如，通过智能调控系统，当进水水质变好时，自动降低运行压力，减

少能耗；当膜污染风险升高时，提前调整运行策略，避免能耗增加，确保系统在高效、低耗状态下运行。

5.3 聚焦低碳集成工艺，推动膜技术与可再生能源协同应用

聚焦低碳集成工艺，推动膜技术与可再生能源的协同应用，将成为膜技术发展的重要方向。在“双碳”目标推动下，膜技术的发展需进一步降低碳排放，通过与可再生能源（如太阳能、风能、沼气能）的协同应用，实现处理系统的能源自给或低碳运行。例如，在膜系统中配套太阳能发电装置，为膜系统运行提供电能；将膜技术与厌氧处理工艺整合，利用厌氧产生的沼气发电，满足膜系统的能源需求。同时，开发膜技术与其他低碳处理工艺（如高级氧化工艺、生物处理工艺）的集成体系，实现多种处理技术的优势互补，在提升处理效率的同时，降低整体系统的能耗与碳排放，推动废水处理行业向绿色低碳方向转型。

6 结论

膜技术作为废水处理领域的重要技术手段，在提升水质净化精度、实现资源回收、简化处理流程等方面具有显著优势，已在不同类型废水处理中初步应用。但当前膜技术仍面临运行能耗高、膜污染频发、工艺整合弱等问题，制约了其能效提升与规模化推广。通过研发低能耗膜材料、优化膜污染控制策略、推动与节能工艺整合，可有效优化膜技术能效；未来向高性能材料、智能调控、低碳集成方向发展，将进一步提升膜技术的应用价值。

参考文献

- [1] 莫辉, 李栋栋, 邱梦雅. 膜技术在高盐废水零排放处理中的膜污染控制策略[J]. 当代化工研究, 2025, (17): 94-96.
- [2] 陈小洁, 马咪, 孙向峰. 浓盐水处理中膜技术在化工废水零排放中的应用研究[J]. 化学工程与装备, 2025, (08): 127-129+132.
- [3] 杨欢. 膜过滤技术处理放射性废水的研究进展[J]. 广州化工, 2025, 53(14): 35-38.
- [4] 钱康. 基于生物膜技术的污水处理创新研究[J]. 黑龙江环境通报, 2025, 38(07): 95-97.
- [5] 赵航. 膜技术在矿山废水处理中的应用研究[J]. 山东化工, 2025, 54(12): 218-220+226.