

化工废水处理中膜分离技术的应用与效能分析

许琮炜 吕 硕 张利波

中科合成油内蒙古技术研究院有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要：本文深入探讨了膜分离技术在化工废水处理中的应用及其效能。膜分离技术作为一种高效、环保、节能的废水处理方法，近年来在化工废水处理领域得到了广泛关注和应用。文章首先概述了膜分离技术的基本原理和分类，随后详细分析了其在化工废水处理中的应用，并探讨了影响膜分离效能的关键因素，最后展望了膜分离技术在化工废水处理领域的发展前景。

关键词：膜分离技术；化工废水处理；效能分析；应用前景

引言

随着化学工业的快速发展，化工废水的排放量日益增加，对环境和人类健康构成了严重威胁。传统的废水处理方法往往存在处理效率低、能耗高、易产生二次污染等问题。而膜分离技术作为一种新型的废水处理技术，凭借其高效、环保、节能等优点，在化工废水处理领域展现出了巨大的应用潜力。

1 膜分离技术概述

1.1 基本原理

膜分离技术作为一种高效、环保的分离方法，在众多领域展现出了广泛的应用前景。其基本原理在于利用具有选择性分离功能的膜材料，这些膜材料在外力（如压力、电场力等）的作用下，能够对混合体系中的不同组分进行精确的分离、纯化或浓缩。这种选择性分离功能，主要基于物质在尺寸、电荷或特定化学亲和力上的差异，使得膜能够像“筛子”一样，将不同性质的物质有效区分开来。

1.2 分类

根据膜孔径的大小以及分离对象的不同，膜分离技术被细分为多种类型。其中，微滤（MF）技术，其膜孔径一般为 $0.1-10\mu\text{m}$ ，主要用于截留悬浮物、细菌等大颗粒物质，确保水质的清洁。超滤（UF）技术，膜孔径约为 $0.001-0.1\mu\text{m}$ ，能够去除蛋白质、胶体等大分子物质，适用于生物制药、食品加工等领域。纳滤（NF）技术，孔径小于 1nm ，能有效去除多价离子和部分有机物，广泛应用于水处理、化工分离等领域。而反渗透（RO）技术，其孔径最小，通常小于 1nm ，几乎能去除所有溶解性盐类、有机物和微生物，是海水淡化、纯净水生产等领域的首选技术。这些膜分离技术各有千秋，共同构成了膜分离技术的丰富体系。

2 膜分离技术在化工废水处理中的应用

2.1 处理含油废水

化工生产过程中，常常会产生含有大量油脂的废水。这些油脂不仅难以自然降解，而且会对水体造成严重的污染，影响水生生物的生存和繁衍。传统的含油废水处理方法，如重力分离、气浮等，虽然能在一定程度上去除废水中的油脂，但处理效果往往不够理想，难以满足严格的环保标准。膜分离技术，特别是超滤膜技术，为含油废水的处理提供了新的解决方案。超滤膜是一种具有微小孔径的过滤膜，其孔径大小通常在 $0.001-0.1\mu\text{m}$ 之间。这种微小的孔径使得超滤膜能够有效拦截废水中的油脂滴和悬浮颗粒，同时允许水分子和其他小分子物质通过，从而实现油水分离^[1]。在实际应用中，超滤膜技术通常与其他处理技术相结合，如预处理、混凝沉淀等，以提高处理效果。预处理阶段主要是去除废水中的大颗粒杂质和悬浮物，以防止它们对超滤膜造成堵塞或损坏。混凝沉淀则是通过添加混凝剂使废水中的胶体物质和微小颗粒凝聚成较大的絮体，便于后续的超滤处理。经过超滤膜处理的含油废水，其油脂含量可以显著降低，甚至达到排放标准以下。同时，超滤膜技术还能保留废水中的部分有用物质，如某些有价值的化学物质，从而实现废水的资源化利用。此外，超滤膜技术还具有运行稳定、操作简便、占地面积小等优点，使得它在含油废水处理中得到了广泛应用。

2.2 处理重金属废水

化工废水中常含有重金属离子，如铜、铅、镉、铬等。这些重金属离子具有毒性大、难以自然降解等特点，对环境和人体健康构成严重威胁。传统的重金属废水处理方法，如化学沉淀、离子交换等，虽然能在一定程度上去除废水中的重金属离子，但往往存在处理效率低、成本高等问题。膜分离技术，特别是纳滤和反渗透

膜技术,为重金属废水的处理提供了新的思路。纳滤膜是一种具有纳米级孔径的过滤膜,其孔径大小通常在1纳米以下。这种微小的孔径使得纳滤膜能够有效拦截废水中的多价离子和部分有机物,同时允许水分子和一价离子通过。反渗透膜则是一种具有更高分离精度的过滤膜,其孔径更小,几乎能够拦截所有溶解性物质。在处理重金属废水时,纳滤膜技术可以选择性地去除废水中的重金属离子,而保留其他无害物质。这使得处理后的废水不仅符合排放标准,还可以回用于生产过程,实现废水的资源化利用。反渗透膜技术则可以将废水中的重金属离子和其他有害物质几乎完全去除,实现废水的深度净化。

2.3 处理有机废水

化工废水中常含有大量有机污染物,如苯、甲苯、二甲苯等芳香烃类化合物,以及酚类、醇类等有机物质。这些有机污染物难以自然降解,对水体造成严重的污染。传统的有机废水处理方法,如生物处理、化学氧化等,虽然能在一定程度上去除废水中的有机污染物,但往往存在处理效率低、能耗高等问题。膜分离技术,特别是反渗透膜技术,为有机废水的处理提供了新的解决方案。反渗透膜具有极高的分离精度和选择性,几乎能够拦截所有溶解性物质,包括有机污染物。这使得反渗透膜技术能够高效去除废水中的有机污染物,同时保留水分子和其他无害物质。在实际应用中,反渗透膜技术通常与其他处理技术相结合,如预处理、生化处理等,以提高处理效果。预处理阶段主要是去除废水中的大颗粒杂质和悬浮物,以防止它们对反渗透膜造成堵塞或损坏。生化处理则是通过微生物的作用将废水中的部分有机物质转化为无害物质,减轻反渗透膜的处理负担。经过反渗透膜处理的有机废水,其有机污染物含量可以显著降低,甚至达到排放标准以下^[2]。同时,反渗透膜技术还能回收废水中的部分有用物质,如某些有价值的化学物质或溶剂等,从而实现废水的资源化利用。此外,反渗透膜技术还具有运行稳定、操作简便、占地面积小等优点,使得它在有机废水处理中得到了广泛应用。

3 膜分离技术的效能分析

3.1 高效分离污染物

膜分离技术具有极高的分离效率,能够高效去除废水中的各种污染物。以超滤膜为例,其孔径范围通常在几纳米到几十纳米之间,这样的孔径大小使得超滤膜能够有效拦截溶液中的所有悬浮物、大分子有机物以及部分重金属离子等污染物。在实际应用中,超滤膜技术能够显著净化废水,使得处理后的水质达到或超过相关排

放标准。不仅如此,纳滤膜和反渗透膜等具有更小孔径的膜技术,更是能够实现对废水中微小颗粒、溶解性有机物以及绝大多数重金属离子的高效去除。这些膜技术不仅净化效果好,而且稳定性强,能够在长时间运行中保持高效的分离性能。

3.2 节能减排效果好

膜分离技术在废水处理过程中不需要添加任何化学试剂,因此不会产生二次污染。这一特点使得膜分离技术相比于传统的化学处理方法更加环保。同时,由于其高效的净化效果,膜分离技术能够大大减少后续处理步骤,从而节省能源消耗。以反渗透膜技术为例,在处理石化废水时,反渗透膜能够在较低的操作压力下发挥作用,对生化效应和化学反应都有很强的耐受性。这不仅降低了废水处理的能耗,还减少了废料对环境的污染,降低了废水处理成本。此外,膜分离技术的设备占地面积小,运行维护简便,也进一步提高了其节能减排的效果。

3.3 环保效益高

膜分离技术在常温下进行,不需要加热或冷却等额外操作,因此不会对环境产生影响。同时,由于其净化效果非常好,处理后的废水可以直接排放或回用,大大减少了环境污染。此外,膜分离技术的使用还可以减少对传统化学处理方法的依赖,降低了化学试剂的使用量和排放量,对保护生态环境具有重要意义。

4 影响膜分离效能的关键因素

4.1 膜材料的选择

膜材料是膜分离技术的核心,其性能直接决定了膜分离的效能。不同材质的膜具有不同的分离性能和抗污染性能,因此,在选择膜材料时,需要根据废水的成分、处理要求以及运行环境等综合考虑。聚偏氟乙烯(PVDF)膜是一种常用的膜材料,它具有良好的化学稳定性和机械强度,能够耐受各种化学物质的侵蚀和机械应力的作用。这种特性使得PVDF膜特别适用于处理含油废水,因为含油废水中往往含有各种有机溶剂和化学物质,对膜材料的化学稳定性要求较高。同时,PVDF膜的机械强度也保证了其在高压操作下的稳定性,延长了膜的使用寿命。另一方面,聚砜(PSU)膜则因其良好的耐热性和抗氧化性而受到青睐。在高温废水的处理中,膜材料需要能够承受高温环境的考验,而PSU膜正是具备了这样的特性。它的耐热性使得膜在高温下仍能保持稳定的分离性能,而抗氧化性则保证了膜在长时间运行中不易被氧化破坏,从而保证了膜分离技术的长期稳定运行^[3]。除了PVDF和PSU膜外,还有许多其他材质的膜材料可供选择,如醋酸纤维素膜、芳香聚酰胺膜等。这些膜材料各

有其独特的性能和适用范围,在选择时需要根据具体情况进行权衡。

4.2 操作条件

操作条件是影响膜分离效能的另一个重要因素。操作条件包括压力、温度、流速等参数,它们对膜分离过程的影响是显著的。压力是驱动膜分离过程的动力来源之一。适当增加操作压力可以提高膜通量,即单位时间内通过膜的水量。然而,过高的压力会导致膜污染和损坏,因为过高的压力会使废水中的悬浮物和胶体等物质更容易在膜表面沉积和堵塞膜孔。因此,在操作过程中需要控制适当的压力范围,以保证膜分离效能的稳定发挥。温度也是影响膜分离效能的重要因素之一。适当提高温度可以降低废水的粘度,使得废水更容易通过膜孔,从而提高膜通量。但是,过高的温度会影响膜的稳定性和寿命,因为高温会加速膜材料的老化和破坏。因此,在操作过程中需要控制适当的温度范围,以保证膜分离技术的长期稳定运行。流速是另一个影响膜分离效能的操作条件。适当的流速可以带走膜表面的沉积物,减少膜的污染和堵塞风险。然而,过高的流速会增加能耗和设备的磨损程度,因此需要根据具体情况选择合适的流速范围。

4.3 预处理工艺

预处理工艺对膜分离效能同样具有重要影响。通过预处理可以去除废水中的悬浮物、胶体等大分子物质,降低膜的污染速率和堵塞风险。常见的预处理工艺包括混凝沉淀、过滤、吸附等。混凝沉淀是通过添加混凝剂使废水中的胶体物质和悬浮物凝聚成较大的絮体,然后通过沉淀作用将其去除。这种预处理工艺可以有效降低废水中的悬浮物和胶体含量,减轻膜分离技术的负担。过滤是通过过滤介质将废水中的悬浮物和胶体等物质截留在介质表面或内部,从而净化废水^[4]。过滤工艺可以根据废水的成分和处理要求选择不同的过滤介质和过滤方式,以达到最佳的预处理效果。吸附是利用吸附剂的吸附作用将废水中的有害物质吸附在吸附剂表面或内部,从而净化废水。吸附工艺具有选择性好、处理效率高优点,特别适用于处理含有难降解有机物的废水。

5 膜分离技术的发展前景

5.1 技术创新

在膜分离技术的发展过程中,技术创新始终是推动其不断前行的关键动力。随着膜材料科学的深入研究,

新型膜材料的研发和应用将成为膜分离技术发展的重要方向。这些新型膜材料将具备更高的性能、更好的稳定性和更长的使用寿命,为化工废水处理等领域带来更大的突破。例如,通过纳米技术和材料科学的结合,可以研发出具有更高分离精度和更强抗污染能力的纳米膜材料,进一步提高膜分离技术的处理效能。

5.2 集成应用

膜分离技术与其他废水处理技术的集成应用也将成为未来的发展趋势。通过将膜分离技术与生物处理技术、化学处理技术等相结合,可以形成更加高效、稳定的废水处理系统。例如,膜生物反应器(MBR)就是将膜分离技术与生物处理技术相结合的一种新型废水处理设备,它结合了膜分离的高效分离性能和生物处理的降解性能,提高了废水处理效率和出水水质,具有广阔的应用前景。

5.3 智能化控制

随着物联网和数据分析技术的快速发展,智能化控制系统在膜分离技术中的应用也将逐渐成为可能。通过实时监测膜分离过程中的各种操作参数,如压力、温度、流速等,并结合数据分析技术对这些参数进行优化调整,可以实现膜分离过程的智能化控制。这将有助于提高膜分离技术的处理效能和稳定性,降低运行成本,为膜分离技术的广泛应用提供更加有力的支持。

结语

膜分离技术在化工废水处理中展现出了巨大的应用潜力和优势。通过合理选择膜材料、优化操作条件和预处理工艺等措施,可以进一步提高膜分离效能和稳定性。未来,随着技术的不断创新和集成应用的发展,膜分离技术将在化工废水处理领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]周胜,吴勇.膜分离技术在化工废水处理中的研究与应用[J].炼油与化工,2023,34(04):10-14.
- [2]张鸥,赵娜,刘璐,等.基于膜分离技术的化工废水净化研究[J].中国轮胎资源综合利用,2024,(10):74-76.
- [3]税桂鸿,程晓英,刘强,等.电化学-膜分离法组合工艺深度处理化工废水中水研究[J].水处理技术,2023,49(04):124-127+153.
- [4]冯卫鑫,黄秀琼.膜分离的新型煤化工废水油尘分离系统应用[J].南方农机,2018,49(05):114+123.