

膜分离技术在水处理中应用研究进展

陈致明

中国城市建设研究院有限公司兰州分院

DOI:10.12238/jpm.v3i7.5095

[摘要] 膜分离技术是水处理中最有效的技术之一,其中最广泛应用的有饮用水净化、海水淡化以及工业废水处理等,有效解决了水环境污染问题。多年来,研究人员不断引进传统过滤、混凝-絮凝、生物处理等与膜分离组合的各种污水处理技术,并不断对现有技术进行了改造优化,以满足当前的排放和循环利用标准。膜分离具有设备规模小、能耗低、投资成本低等优点,符合环境友好型可持续发展的要求。该技术是水处理的主要发展方向之一,但膜污染问题挑战着这一潜力巨大的新兴行业,也是一个亟待研究和解决的难题。

[关键词] 膜分离; 水处理; 膜污染; 应用

中图分类号: TK223.5 **文献标识码:** A

Research Progress in Membrane Separation Technology in Water Treatment

Zhiming Chen

Lanzhou Branch of China Urban Construction Research Institute Co., LTD. Lanzhou

[Abstract] Membrane separation technology is one of the most effective technologies in water treatment, among which the most widely used are drinking water purification, seawater desalination and industrial wastewater treatment, which effectively solve the problem of water environmental pollution. Over the years, the researchers have continuously introduced traditional filtration, coagulation, flocculation, biological treatment and membrane separation and combination of various sewage treatment technologies, and have been constantly transforming and optimizing the existing technologies to meet the current discharge and recycling standards. Membrane separation has the advantages of small equipment scale, low energy consumption and low investment cost, which meets the requirements of environmentally friendly and sustainable development. This technology is one of the main development directions of water treatment, but the problem of membrane pollution challenges this emerging industry with huge potential, and it is also a difficult problem to be studied and solved urgently.

[Key words] membrane separation; water treatment; membrane pollution; application

引言

随着人类社会的发展,生产过程中产生的废弃物、生活污水、酸性雨水、未处理达标的工业废水,不同程度上对受纳水体产生了污染,水环境恶化成为了人类共同面临的问题。而在我国,水资源相对匮乏,人均水资源量少,加剧了水资源危机。为了有效应对这一问题,在党中央生态文明建设的号召下,水处理工作者致力于低耗高效的净化技术研究,其中,膜分离技术因高效节能在行业中飞速发展起来。

1 膜分离技术原理与特点

膜是一种具有选择性分离功能的材料,在流体流经时其可允许一种或几种特定物质透过,而其他物质被截留,从而达到分离、纯化、浓缩等目的。膜技术是在膜的两侧施加压差,使成分

选择性地通过膜并被分离的一种技术。自20世纪60年代末以来,膜技术因选择性好、适应性强、分离条件温和、无化学变化、操作时间短、能耗相对低,与传统的蒸发、蒸馏相比具有良好的环境兼容性,被广泛应用于分离纯化领域。在过去的几十年里,膜技术已经成为物质分离的优先选择,不仅可以将固态溶质分离出来,还可以将溶液中溶解的气体进行分离。膜分离能力范围广泛,不仅可以实现普通有机物和无机物的分离,而且能够分离尺寸极其微小的化学物质及微生物,如实际应用中已广泛使用的微滤、纳滤、超滤、反渗透及电渗析等。基于膜分离的一系列优点,膜分离技术被广泛应用于水处理行业。

2 膜分离技术在水处理中应用

2.1 在净化饮用水方面的应用

在净化饮用水的过程中,不仅要除去常见的污染物,包括有机物、无机盐等,还要彻底去除水中产生的化学物质和微生物,因为这些物质一旦进入人体将会产生如伤寒、痢疾、霍乱等的疾病,严重影响人类的身体健康。膜分离技术通过控制膜表面间隙的大小来确定膜的类型,进而有效去除水中所含的病菌,还可以降低饮用水的色度和浊度,提高饮用水的质量。膜分离技术不需要在原有的水体中添加化学剂,给原有水体带来的影响并不大,还会大大降低水处理的成本支出,比较适用于规模较大的饮用水处理系统。膜分离技术可以有效解决传统的饮用水处理工艺面临的诸多问题,有效消除水中的消毒副产物,因此在饮用水处理中得到了广泛的应用。特别是以纳滤膜为核心的处理工艺除杂性强、操作压力低,在供水行业具有明显的优势。

张传港^[1]以威海米山水库水为研究对象,采用混凝+微滤组合技术,开展了污染效能的中试研究,结果表明,该工艺对浊度、耗氧量以及UV254的去除效率最高分别达到了95%、62%和72%;斯里兰卡CKDU病区的地下水中硬度和F-平均质量浓度分别超过250mg/L和1.49mg/L,且DOC大于4.0mg/L,在2018年9月投入运行村援建立的纳滤膜饮用水站后,硬度和F-分别有80%和85%被截留,DOC完全去除,产水水质满足斯里兰卡国家饮用水水质标准(SLS 614-2013)^[2];杨柳青水厂是天津市自来水公司承担的饮用水处理技术示范工程,主工艺采用混凝-压入式超滤膜法,产水规模5000m³/d,工程出水的浊度<0.1NTU, COD<3.0mg/L^[3];西安美星公司对咸阳机场的供水净化研究表明,采用反渗透技术处理含铬、高氟的苦咸水,可以将不宜饮用的Ⅲ级水变成符合世界卫生组织饮水水质标准的优质水^[4]。可见,膜分离技术以提高水资源利用质量为基础,为居民饮用水安全提供了必要的保障。

2.2在海水淡化中的应用

海水淡化是去除海水中存在的盐,并提供适合人类消费和工农业用途的淡水的过程,被认为是缓解全球水资源短缺危机的可靠和有效的方法。在目前发展起来的滤膜海水淡化工艺中,反渗透(RO)膜工艺因其在综合成本及能源消耗方面的优势,在海水淡化行业中占据了主导地位。

Chen等研究了双重功能的纳米纤维聚乙烯醇基膜(NPM)油/水分离和太阳能脱盐。在膜上装饰了互连的聚吡咯(PPY)作为太阳光吸收剂,结果表明,油水分离效率超过99%。同时,高效的太阳热转化使NPM能够以2.87kg·m⁻²·h⁻¹的蒸发速率使海水脱盐^[5]。Guo等通过聚偏二氟乙烯-共-六氟丙烯电纺丝,然后通过电喷涂涂覆TiO₂纳米颗粒制造纳米纤维膜,结合高铁酸盐预处理,然后进行溶解气浮(F-DAF),结果证明膜蒸馏与F-DAF系统相结合可减轻膜污染来并应用于长期海水淡化中^[6]。Zhou等研究沸石FAU膜,将获得的膜用于通过全蒸发使海水脱盐。在75℃、20h制备的条件下,进料温度90℃,水通量从0.96kg·m⁻²·h⁻¹增加到5.64kg·m⁻²·h⁻¹,离子截留率均高于99.8%,沸石FAU膜对于海水脱盐显示出高分离性能^[7]。

2.3在工业废水处理中的应用

由于使用水或清洗活动的工业制造过程不同,工业活动产

生的废水在污染特征上差别很大,而且每个工业部门产生的污染物组合也不同,产生的工业废水可能含有重金属离子、有机化合物、营养素、染色物质、农药和一些其他有毒物质。因此,这些工业废水必须得到相对应的有效处理,才能排除生命威胁,才能保护生态环境安全。此外,由于水资源短缺和环境保护问题日渐严重,工业废水处理循环使用已成为可持续的备选解决方案。由于传统废水处理方法的经济和技术限制,许多行业转向膜技术来执行更可靠的废水处理操作。

Tong^[8]研究了一种具有超亲水性和水下超疏油性的新型磺酸纳米水凝胶膜,通过聚合技术在水性介质中开发的直径为32nm的磺酸纳米水凝胶Poly在微滤膜上。结果显示,拒油率>99.7%,膜的优异防污性能提高了模拟厨房废水过滤系统的循环稳定性,化学需氧量去除率为61%,通量回收率达到98%。Chen^[9]研究了氧化石墨烯(GO)聚醚砜(PES)膜对脱硫废水中Hg²⁺的分离性能。通过真空过滤法将GO膜组装在PES微滤膜上,结果表明,Hg²⁺的保留率为80.33%,通量为26.3L·m⁻²·h⁻¹。废水的pH值为9时,可以获得最佳的Hg²⁺分离性能。

3 膜污染现象及防控技术研究

3.1膜污染形成原因

膜污染是指悬浮物、微生物、有机物等沉积在膜表面或膜孔内,导致渗透通量下降。进料的pH值、膜的粗糙度以及交叉流速、温度等工艺条件以不同方式相互作用也会加剧膜污染。当污染物沉积在膜的表面时,会形成一层滤饼,造成可逆型污染,而当污染物沉积在膜孔中时就会形成不可逆型污染。膜污染对膜的整体性能有严重影响,包括能耗更高、停留时间更长、膜过滤面积更小等,因此需要更高的压力来确保膜渗透,污垢越多,所需压力越大。

污垢有不同的形式,其中包括生物污染、有机污染和无机污染。生物污染是指微生物在膜上的沉积和生长,由于微生物细胞及其胞外聚合物附着在膜表面,引起膜孔堵塞,增加膜渗透的阻力。有机污染是指有机物被吸附到膜表面,并随着时间的推移而积累,逐渐阻碍膜的渗透。无机污染是指无机盐在膜表面的沉积,包括CaSO₄、CaCO₃和SiO₂等,当其浓度超过溶解极限时,难溶性盐类会从溶液中析出到膜表面。

3.2膜污染控制研究

膜污染是由于原水体经过膜表面的过程中,其中的杂质、分子物质等与膜发生反应并停留在膜的表面,进而被膜体吸收,造成截留浓度增加而膜通量降低,大大降低膜分离效果,影响出水水质。因此为了高效利用膜分离技术,做好膜清洗工作至关重要,经常使用的膜清洗技术主要分为物理、化学、生物三种。

(1)物理清洁方法。物理清洗方法包括反压清洗和低压高流速清洗,其工作原理是用处理过的水清洗膜表面,有效去除膜上的污染物质。但这种清洗方法不能有效去除膜中残留的化学物质,不适合长期使用后的分离膜清洗。(2)化学清洁方法。从超滤膜的角度来讲,化学清洗方法常用的药剂有酸、碱等,这些物质能够与膜上残留的化学物质发生反应,使这些化学物质从膜

表面分离,从而使膜恢复到原来的分离效果。在使用清洁药剂之前,相关部门和工作人员要明确哪些物质应该去除,并在此基础上选择合适的药剂,防止由于药剂不合理而改变膜的结构,给膜带来损伤。(3)生物清洁方法。生物清洗方法主要分为两种,一是利用微生物和其他生物活性物质在膜表面发生反应,有效去除膜表面的污染物;二是在膜表面固定生物制剂,这种生物制剂会与分离的物质产生物理反应,改变其生物性质和化学性质,使其无法在膜表面停留,增强膜的抗污染能力。这两种方法的原理不同,但是产生的效果符合相关标准和要求,有利于降低运行成本支出。

4 结束语

总而言之,膜分离技术在水处理中的应用前景可观且潜能无限,是解决环境恶化、资源短缺、能源枯竭等问题有效可行的技术之一。针对膜分离过程中的膜污染问题,可以采用常用的物理化学清洗、反冲洗等方法恢复膜通量,进而得以缓解。今后的研究也应在膜材料的抗污染、机械强度等性能方面更加深入,才能使膜分离技术不断优化,并推广到各行各业中。

[参考文献]

[1]张传港.饮用水微污染微滤组合工艺中试试验研究[D].

哈尔滨工业大学,2005.

[2]胡大洲,郑利兵,钟慧,等.斯里兰卡CKDu病区地下水水质分析及纳滤膜技术在该地区饮用水处理中的应用[J].环境工程学报,2021,15(06):1937-1945.

[3]韩宏大,何文杰,吕晓龙,等.天津市杨柳青水厂超滤膜法饮用水处理技术示范工程[J].给水排水,2008,(9):14-16.

[4]尚天宽.反渗透技术在苦咸水淡化工程中的应用[J].工业水处理,1998,18(002):33-36.

[5]蒋学彬.膜分离技术在石油工业含油污水处理中的应用研究进展[J].油气田环境保护,2015,25(05):77-80+94.

[6]赵维春,徐晓波.无机膜分离技术在水处理中的应用研究[J].中国给水排水,2015,31(10):38-40.

[7]邓建绵,童玲,周振民.膜分离技术在再生水处理中的应用研究综述[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2015,36(02):84-88.

[8]简武,冯玮隼,沈玲玲.膜分离技术在水处理中的研究及应用进展[J].绿色科技,2012,(03):163-166.

[9]隋冰.膜分离技术在环境工程中的应用现状及发展前景[J].中国战略新兴产业,2018,(12):161.

中国万方数据库简介:

万方数据成立于1993年。2000年,在原万方数据(集团)公司的基础上,由中国科学技术信息研究所联合中国文化产业投资基金、中国科技出版传媒有限公司、北京知金科技投资有限公司、四川省科技信息研究所和科技文献出版社等五家单位共同发起成立——“北京万方数据股份有限公司”。

万方数据是国内较早以信息服务为核心的股份制高新技术企业,经过20年来快速稳定的发展,万方数据目前拥有在职员工近千人,其中硕士以上学历约占25%,专业技术人员占70%,已经发展成为一家以提供信息资源产品为基础,同时集信息内容管理解决方案与知识服务为一体的综合信息内容服务提供商,形成了以“资源+软件+硬件+服务”为核心的业务模式。

万方数据以客户需求为导向,依托强大的数据采集能力,应用先进的信息处理技术和检索技术,为决策主体、科研主体、创新主体提供高质量的信息资源产品。在精心打造万方数据知识服务平台的基础上,万方数据还基于“数据+工具+专业智慧”的情报工程思路,为用户提供专业化的数据定制、分析管理工具和情报方法,并陆续推出万方医学网、万方数据企业知识服务平台、中小学数字图书馆等一系列信息增值产品,以满足用户对深层次信息和分析的需求,为用户确定技术创新和投资方向提供决策支持。

在为用户提供信息内容服务的同时,作为国内较早开展互联网服务的企业之一,万方数据坚持以信息资源建设为核心,努力发展成为中国优质的信息内容服务提供商,开发独具特色的信息处理方案和信息增值产品,为用户提供从数据、信息到知识的全面解决方案,服务于国民经济信息化建设,推动全民信息素质的提升。