

水处理中的反渗透技术研究与应用

满化林

中煤科工集团南京设计研究院有限公司

DOI:10.12238/eep.v7i2.1906

[摘要] 水是宝贵的自然资源和经济资源,随着人类社会经济的发展,由水污染引起的水资源危机越发严重。反渗透技术目前已经成为国内外应用广泛的水污染处理技术,在工业废水处理、海水淡化甚至给排水处理等领域都有成功的应用案例。本文旨在探讨反渗透技术在水处理中的研究现状和应用前景。首先介绍反渗透技术的原理,然后从理论研究和实践应用两个角度分析其在水处理领域的最新进展。最后,通过对反渗透技术在海水淡化、工业废水处理、饮用水净化等方面的应用案例进行综述,揭示该技术在解决水资源短缺和水污染问题中的重要作用,为相关研究和工程实践提供一定的参考。

[关键词] 反渗透; 水处理; 海水淡化; 饮用水

中图分类号: TK223.5 **文献标识码:** A

Research and application of reverse osmosis technology in water treatment

Hualin Man

China Coal Technology & Engineering Group Nanjing Design & Research Institute Co., Ltd

[Abstract] Water is a precious natural and economic resource. With the development of human society and economy, the water crisis caused by water pollution has become increasingly serious. Reverse osmosis technology has become a widely used water pollution treatment technology both domestically and internationally, with successful application cases in industrial wastewater treatment, seawater desalination, and even water supply and drainage treatment. This article aims to explore the research status and application prospects of reverse osmosis technology in water treatment. Firstly, introduce the principle of reverse osmosis technology, and then analyze its latest progress in the field of water treatment from the perspectives of theoretical research and practical application. Finally, by summarizing the application cases of reverse osmosis technology in seawater desalination, industrial wastewater treatment, drinking water purification, etc., the important role of this technology in solving water resource shortage and water pollution problems is revealed, providing a certain reference for related research and engineering practice.

[Key words] reverse osmosis; Water treatment; Seawater desalination; drinking water

前言

反渗透(RO)是目前精度最高,截留分子量最小的膜法液体分离技术,其可以拦截所有溶解性盐类及分子量大于100的有机物,拦截率高达98%以上。反渗透核心部件为只允许水分子通过,不允许水中溶质分子通过的半透膜。在自然界中水分子在渗透压的作用下总是从低浓度溶液向高浓度溶液迁移,而反渗透则是在半透膜进水侧施加一定压力,使水分子克服自然渗透压,从高浓度溶液向低浓度溶液迁移。

1 反渗透技术原理

目前,市场上常用的半透膜材质主要分醋酸纤维和聚酰胺两种。醋酸纤维主要应用于苦咸水领域,其抗氧化能力强,但化学稳定性差,在运行过程中容易水解,导致膜截留率下降,目前

市场份额不断减小;聚酰胺主要应用于海水淡化领域,化学稳定性好,拦截效率高,但是不耐氯氧化。

反渗透技术在水处理技术行业的应用使得从含有多种溶质的原水中获取纯净水成为可能,尤其在缺乏清洁水源的地区,其价值更是无法估量。它的高效性主要体现在对水中病原体以及多种溶解性化学物质的去除能力,可有效保证水质达标。此外,通过优化膜材料和系统设计,反渗透装置在提升水质的同时,也不断向着能耗更低、成本更低的方向发展。

2 反渗透技术在水处理中的研究现状

2.1 理论研究

反渗透技术的理论研究建立在对物质传输机理的理解基础上,反渗透的物质传输机理目前尚未统一认知,其中“选择性吸

附-毛细管流”机理常被引用,该理论认为膜表面材质具有亲水性特征,排斥溶质,在膜表面可形成1nm厚纯水层,在外加压力的作用下纯水层中的水分子通过毛细管流过反渗透膜。

在膜材料改性方面,研究者不断尝试不同的材质,以改善膜的透水性及抗污染特性。例如,通过表面涂覆或掺杂改性剂使膜表面亲水性增强,能有效减少有机物的吸附,降低生物污染的风险。

在膜结构优化方面,研究者致力于提升半透膜的通量同时保持或提高截留率。通过改变膜的孔隙率、孔径分布以及增加膜表面的微结构,可以有效改善水通量和减少膜阻塞的问题。膜的各项性能优化经常需要在透水性和截污能力之间做平衡。膜污染控制是反渗透技术研究的重点之一,因为污染会导致膜的通量及寿命下降,并导致能耗升高。为了解决这一问题,研究者们开展了大量工作,例如采用强化预处理技术以减少进入反渗透系统中的污染物,以及探索自清洁半透膜的开发。同时,运行参数的优化,如流速和膜面切应力的增加,也能够减缓污染物对膜的影响。此外,反渗透系统的能耗问题也是理论研究的关键点。传统的高压泵和能量回收技术的继续优化,以及寻找新的能量转换方法,都有可能降低系统的整体能耗。

2.2应用实践

反渗透技术的广泛应用已成为现代水处理不可或缺的一部分,展现了其在多个方面的实际效益。首先,在海水淡化领域,反渗透系统被成功应用于将海水转化为饮用水或农业灌溉水,这对于淡水资源匮乏的沿海国家和地区尤为重要。通过优化膜系统和能源回收技术,海水淡化的成本和能耗大幅度降低。在工业应用中,反渗透方法被用来处理包括矿井水零排放工程、化工废水处理、电镀、食品和饮料生产等产生的废水处理。其能有效去除水中的有害物质及盐分,如重金属离子、盐分和有机污染物,有助于企业达到严格的排放标准。对于饮用水净化,反渗透技术能去除水中的病原体、铅和其它潜在有毒物质,为人们提供了一种安全的饮水保障。同时,随着小型化家用反渗透净水器的普及,人们能在家直接获得高品质的饮用水。生活污水处理方面,反渗透技术的应用有助于提高水资源的循环利用效率,减轻城市供水压力,并可应对干旱或临时用水需求攀升等紧急情况。虽然反渗透技术已在多个领域取得了显著成效,但仍面临技术和经济上的挑战,如成本高、膜的大规模生产能力问题,以及膜材质的稳定性和污染问题。应用实践中,持续对这些挑战的研究和创新解决方案的探索是确保该技术可持续发展的关键。

3 反渗透技术的应用案例分析

3.1海水淡化

海水淡化是反渗透技术应用的突出领域。在地理上临海而又缺乏淡水资源的区域,尤其是在干旱的中东地区,反渗透技术成为解决淡水来源问题的重要方案。我国东部沿海地区有大连石化海水淡化工程、宁德核电海水淡化工程、浙江乐清电厂海水淡化工程等30余项大型海水淡化工程。阿拉伯联合酋长国和沙特阿拉伯作为海水淡化技术的领先使用者,已大力投入

到反渗透海水淡化的建设与运营当中。以阿联酋乌姆盖万海水淡化厂为例,这个项目代表了现代化膜法海水淡化技术的应用顶点,是世界上最大的反渗透海水淡化厂之一,产水规模达68.2万 m^3/d ,近220万当地居民将受益于此,有效扭转当地“淡水贵如油”的局面。它的主要特点有:

(1) 高效能量利用: 该项目采用了能量回收系统,显著减少了电能需求,耗电量降低20%。

(2) 高产水质量: 应用先进的预处理和精密的膜技术确保了产水质量,满足了饮用水的高质量标准。

(3) 经济性: 通过降低能耗和提高运行效率,反渗透技术减少了海水淡化的整体成本(与蒸发工艺相比)。

此外,海水淡化厂的成功运行加强了当地对反渗透技术的信心,鼓励了对该技术进一步的投资与研究,推动了海水淡化工艺和材料技术的不断进步。反渗透处理系统因其在海水淡化中的应用而被世界各地视为水资源管理的重要工具。尽管在投资初期需要较高的成本,但长期来看,其高效的运作、对环境的低冲击以及优异的处理能力,使得反渗透技术在海水淡化领域得到广泛认可和应用。这样的案例表明,反渗透技术不仅有助于解决当前水资源短缺的问题,也为应对未来的水资源挑战奠定了基础。

3.2工业废水处理

工业废水处理是反渗透技术的另一个重要应用领域。该技术的净化能力使其成为多个行业理想的选择,尤其是在处理包含有毒成分的工业废水时。

3.2.1电镀行业

在电镀行业中,废水往往含有镉、铬、铅等有害金属,这些都是严格受控的污染物。应用反渗透系统使这些重金属从废水中分离出来,有效减少了对环境的污染负荷。而净化水可以回流到生产线用于冷却和清洗,实现了水资源的循环利用。

3.2.2制药行业

在制药行业中,保证水质对药品的纯度和安全至关重要。反渗透为此可提供有效的净化手段,能够在水的预处理阶段去除溶解固体、有机物、细菌和病毒。此外,反渗透也可用于处理废水,确保废水达标排放。

3.2.3重工业区

钢铁制造等重工业生产过程产生的废水含有多种悬浮颗粒和溶解性污染物。反渗透技术可以有效去除这些污染物,并且有可能回收废水中的有用成分,比如铁、锌等,产水同样可回收利用,这不仅有助于降低工厂对新鲜水资源的依赖,还可减少工业废物的排放。

3.3饮用水净化

反渗透技术在饮用水的净化过程中扮演了重要角色,特别是在城市供水系统中,它帮助提高了自来水的品质,确保水质安全可靠。以下是反渗透技术在饮用水净化中的一些关键使用例证:

3.3.1城市供水系统

在水资源匮乏地区,如美国加州,反渗透技术已成为某些城市供水的核心净化手段。某些大型地表水净化项目,就采用了反渗透工艺。这些系统从地表水体(如河流和湖泊)取水,然后通过预处理和反渗透过程去除水中的杂质和污染物,如溶解的盐类、金属、病原体等。处理后水质满足饮用水标准。

3.3.2 家用反渗透系统

随着人们生活质量及健康意识的提高,越来越多的家庭对饮用水要求不断的提升,促进了家用反渗透设备普及。这些设备安装方便,为家庭提供即时的饮用水净化解决方案,能进一步去除自来水中残留的各种污染物,如铅、汞和其他重金属,以及病原体等有害物质。通过家用反渗透系统处理过的水显著提高了水质,具备更好的口感和更高的安全性。这些设备通过小型化的反渗透膜技术在家庭级别上提供了高效能的水净化服务。人们能够直接从水龙头中获得等同于瓶装水水质的饮用水,这不仅方便了消费者,还有助于减少对瓶装水的需求,间接促进了环境保护。

反渗透技术在饮用水处理领域中的应用已经证明了其价值,无论是在宏观的城市供水系统,还是在微观的家庭使用中,它都为人们提供了清洁、安全的饮用水资源。随着技术的进步和成本的降低,可以预见反渗透技术在未来的饮用水净化中将会有更加广泛的运用。

4 反渗透技术的未来发展趋势

随着全球对水环境保护意识的增强,对清洁、安全饮用水需求的增加,反渗透技术正在快速发展并不断完善。在未来,我们可以预见反渗透技术将紧跟科学技术的步伐不断发展,特别是在材料科学、纳米技术和膜工艺方面,这些领域的进步将直接推动反渗透膜的性能提升,使其更高效,即膜通量更大、污染物截留率更高。与此同时,对能源的需求促进了低能耗技术的创新,将来的反渗透设备预计会采用更高效的能量回收系统和优化的水力设计,以降低整体能源消耗。在降低成本方面,未来的研究将集中于膜材料生产过程的经济性和膜的耐久性,以延长换膜周期,减少维护成本。另外,智能控制技术和大数据分析将逐步集成到反渗透系统中,通过精确控制操作参数、监测膜性能和预测系统维护需求,无疑将提升系统的操作性能和效率。智能传感

器的应用能够实时监测水质和系统状态,配合人工智能算法,能够实现预测性维护和故障自动诊断,这将极大地提高系统的稳定性和用户的便利性。总体来说,未来的反渗透技术将是一个高效、经济、智能的水处理解决方案,通过持续的创新和改进,它将更好地满足全球不断增长的饮用水和工业用水需求。

5 结束语

总而言之,反渗透技术作为一种高效的水处理技术,在水资源短缺和水污染治理中具有重要的意义。当前,反渗透技术已在海水淡化、工业废水处理、饮用水净化等领域得到了广泛应用,并且在理论研究和实践应用方面都取得了显著的成果。未来,随着科学技术的不断发展和水资源管理的需求不断增加,反渗透技术将在技术和应用上取得新突破,为全球的水资源保护和可持续利用贡献更大的力量。

[参考文献]

- [1]阮国岭.海水淡化工程设计[M].中国电力出版社,2013:58-124.
- [2]苏伊士水务工程有限责任公司.得利满水处理手册[M].化学工业出版社,2020:201-214.
- [3]靖大为.反渗透系统优化设计与运行[M].化学工业出版社,2016:8+69-89.
- [4]冯宽利.工业废水处理技术与工程实践[M].化学工业出版社,2019:39.
- [5]张林生.水的深度处理与回用技术[M].化学工业出版社,2016:117+301.
- [6]JMa Ultrahigh-flux Nanoporous Graphene Membrane for Sustainable Seawater Desalination Using Low-grade Heat[J].Advanced Materials.
- [7]YH Wang.Chlorine disinfection significantly aggravated the biofouling of reverse osmosis membrane used for municipal wastewater reclamation[J].Water Research,2019.02.

作者简介:

满化林(1990--),男,汉族,山东济南人,硕士研究生,中级工程师,现主要从事的工作或研究的方向:污水处理。