

反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用探析

杨云江

(山东洋纳环保科技有限公司, 山东 德州 253000)

摘要 随着工业化的快速发展, 工业污水处理成为环境保护的重要一环。反渗透水处理设备作为一种高效、节能的水处理技术, 在工业污水处理中发挥着越来越重要的作用。本文介绍了反渗透水处理设备及其工作原理, 详细分析了该设备在钢铁工业、造纸工业、印染工业和电子工业等各类工业生产废水处理中的应用情况, 并提出了确保资料收集的精确性、科学选择与设计设备类型及方案、规范操作方法、优化操作流程、延长反渗透膜使用寿命和改进密封胶圈设计等综合措施, 以期为提升反渗透水处理设备的应用效果提供借鉴, 从而进一步提高工业污水处理的效率和质量。

关键词 反渗透水处理设备; 工业污水处理; 钢铁工业; 造纸工业; 印染工业

中图分类号: X7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.025

0 引言

在水资源短缺和环境污染问题日益严重的情况下, 有效、稳定和经济的废水处理技术已成为目前的一个研究热点。反渗透水处理技术作为废水处理行业的一个关键子领域, 因其在脱盐和净化方面的高效性能而受到广泛关注。但在实践中反渗透水处理设备经常会遇到膜污染、密封泄漏、运行不规范等现象, 极大地影响设备性能和出水水质。因此, 探讨提高反渗透水处理设备运行性能和稳定运行关键策略对废水资源化利用和环境保护至关重要。

1 反渗透水处理设备及其工作原理

反渗透水处理设备作为现代水处理技术中的翘楚, 具有高效性与广泛应用性, 在工业与民用领域中都显示出不凡价值。这种装置是根据反渗透原理(见图 1)来工作的, 这种原理就是渗透现象中的逆过程^[1]。自然状态时, 渗透作用促使水分子由低浓度溶液转移到高浓度溶液中, 直到两边的浓度趋于平衡。但反渗透通过外加压力迫使水分子反向穿过半透膜并由高浓度侧向低浓度侧流动, 以有效地拦截溶解固体、有机物、胶体、微生物和其他杂质达到深度净化水质。高效的反渗透膜是反渗透水处理设备的关键组成部分, 这种膜的孔径非常小, 可以有效地阻挡大量的溶解盐和分子量超过 100 的有机物, 同时允许水分子自由流动。该装置运行时, 先通过预处理系统对原水进行预处理, 除去悬浮物、大颗粒杂质及余氯, 保护反渗透膜不被

污染破坏。然后, 经过预处理的水会流入反渗透膜组件中, 并在高压泵作用下迫使水分子穿过半透膜同时将杂质拦截于膜侧, 从而产生浓水。最后经反渗透膜处理后水质有了明显改善, 变成了可供工业生产使用或者饮用纯净水^[2]。

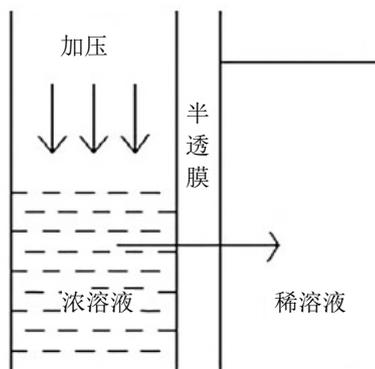


图 1 反渗透原理

2 反渗透水处理设备在各类工业生产废水处理中的应用

2.1 钢铁工业

钢铁工业是国民经济的主要支柱, 在生产中所排放的污水不仅数量多, 且组成复杂、含高浓度悬浮物和油类、重金属离子及各种有机物, 对环境及生态系统造成严重的威胁。因此, 对钢铁工业废水进行有效治理和回用对实现节能减排和推动可持续发展有着十分重要的作用。反渗透水处理设备处理钢铁工业废水

已显示出其明显的优越性^[3]。对于钢铁废水中所含高浓度悬浮物及油类而言，在预处理阶段一般都会使用混凝、沉淀、过滤及气浮技术来对其进行有效的清除，从而达到保护反渗透膜不被污染的目的。然后将预处理后的水体送入反渗透系统中，水分子在高压泵作用下被迫穿过半透膜同时将重金属离子、有机物和其他杂质拦截于浓水侧达到废水深度净化目的。

2.2 造纸工业

造纸工业作为传统高污染行业，对废水的处理一直以来都是环保领域研究的热点和难点。造纸产生的废水中包含了大量的悬浮物、纤维、化学需氧量(COD)、生物需氧量(BOD)和各种添加剂的残余。如果这些废水没有得到适当的处理而被直接排放，它们将对整个水体生态系统带来巨大的损害。反渗透水处理设备处理造纸工业废水为破解这一困境提供了一条有效途径。造纸废水处理流程一般以反渗透设备为深度处理单元处于混凝沉淀和生物处理的预处理工序后面^[4]。预处理阶段的目的是除去污水中绝大部分悬浮物、胶体和某些有机物，使反渗透膜进水环境比较干净，从而延长其使用寿命，提高处理效率。进入反渗透系统，污水由高压推动经过精密半透膜时，薄膜选择透过性使水分子顺利透过，同时污水中溶解有固体、胶体和色素、并对残留添加剂等进行高效截留以达到废水深度净化目的。

2.3 印染工业

印染废水中一般含有高浓度有机物、色素、重金属离子和大量悬浮物等污染物，它们不但很难被降解，还会给环境造成很大危害。将反渗透水处理设备应用于印染工业废水处理为解决该困境提供了一种创新的方法。印染废水处理流程一般以反渗透设备为核心单元进行深度处理阶段，处于混凝沉淀和生物处理的初级处理工艺后面。预处理阶段的目的是将废水中悬浮物、胶体和一些易降解有机物除去，从而为随后反渗透处理创造良好的条件。进入反渗透系统，污水经高压泵强制流经精密半透膜。该膜具有选择透过性，使水分子和一些小分子物质能够透过，同时对污水中绝大部分有机物、色素和重金属离子进行有效拦截，达到对污水深度净化目的^[5]。

2.4 电子工业

电子工业是高新技术产业中的一个重要部分，它在学习中所排放的污水成分复杂，含重金属离子与有机污染物，给环境与人体健康带来了潜在的威胁。反渗透水处理设备应用于电子工业废水处理为这一环保难题的解决提供了一种有效而又经济的方法。在处理

电子工业废水的过程中，反渗透设备一般是深度处理的一环，处于酸碱中和、混凝沉淀、活性炭吸附或者离子交换的预处理过程后。预处理阶段以去除污水中悬浮物、胶体、某些重金属离子和易降解有机物等为主要目的，并为随后反渗透处理创造条件。

3 提升反渗透水处理设备应用效果的综合措施

3.1 确保资料收集的精确性与全面性

在增强反渗透水处理设备的使用效果时，数据采集范围要涉及原水水质特性、设备选型参数、运行维护记录和历史处理数据。一是对原水水质进行精确分析，是设备选型和设计的依据，其中包括对水中溶解性固体、有机物含量、pH值、温度和悬浮物浓度等主要指标进行精确测量，有利于对装置进行有针对性预处理方案以降低膜污染风险。二是设备选型参数是否准确直接影响处理效率和费用，需要从处理规模、进水水质、出水水质需求、膜材料特性和操作压力等方面进行考虑，经过科学的计算和仿真，保证了选用的装置在满足处理需要的同时，还具有经济合理性。三是运行维护记录是否全面和准确对及时发现问题和解决问题非常重要，主要涉及设备运行状态、清洗周期和药剂消耗等方面。膜性能监测和其他资料，要定期采集和分析，以便优化操作流程和提高设备寿命。

3.2 科学选择与设计反渗透水处理设备类型及方案

在增强反渗透水处理设备使用效果过程当中，对反渗透水处理设备种类和方案进行科学选择和设计是其中的核心环节。这一步需要考虑原水的水质特征、处理规模、出水的水质要求、运行成本、环境影响和经济效益等诸多因素。一是对于不同种类原水水质应选择合适的膜材料和组件种类，如对于含盐量较高或者难降解有机物废水可以选择抗污染性能好、脱盐率较高等特殊膜材料。二是确定处理规模需要以实际需求为依据，在保证处理量符合生产需求的前提下，避免因设备闲置而浪费资源。出水水质要求决定着装置的处理深度和工艺流程，需要按照特定的标准或者使用情况严格把关。

3.3 保障反渗透水处理设备操作方法的规范性与准确性

在促进反渗透水处理设备使用效果不断提高的同时，确保操作方法规范性和准确性，是保证该装置高效平稳运行的重点。一是设备启动和停机都要按照设定的步骤进行，如启动之前需要对各个零件的状态进行检查，以保证压力、温度和流量都处于正常的范围；停机时需要做必要的清理和维护，才能延长设备寿命。

二是日常操作的监控和调控非常关键，主要是对进水水质、产水水质、膜压差和回收率等主要指标进行实时监控，发现异常情况后立即采取调整措施，以免问题扩大化。三是定期的维护和保养对保证设备性能至关重要，其中膜组件清洗、药剂补充和更换以及过滤器反冲洗都需要严格按设定方案进行。同时对操作人员要定期进行专业培训并不断提高操作技能和应急处理能力以保证遇到突发状况时能做出快速准确的反应。

3.4 结合水力学特性，优化反渗透水处理操作流程

在增强反渗透水处理设备使用效果的同时，综合考虑水力学特性并对操作流程进行优化，是提高处理效率和降低能耗的重要途径。水力学特性如流速、压力和流量分布对反渗透膜性能和寿命有直接的影响。一是合理的流速设计可以保证水流在膜表面均匀地流动，降低了膜污染和阻塞的危险，也就提高了产水效率。二是以压力控制为中心进行优化操作，压力过高会使膜负荷增大，加快膜老化和破损速度，压力太低又会造成产水量不足，从而影响处理效率。所以，需要结合原水水质、膜材料特性和处理目标，准确地计算和设置合适的操作压力。三是流量分配是否均匀是优化运行的一个重要方面，管道布局和流量分配的合理设计保证了各个膜组件进水流量平衡，避免了局部过载或者欠载的情况发生，进而延长了膜使用寿命，提高了整体处理效率。

3.5 延长反渗透膜的使用寿命，减少污染积累

反渗透水处理系统连续运行时，提高反渗透膜使用寿命，降低污染积累，是促进整体处理效率和经济效益提高的关键。反渗透膜是系统核心组件，反渗透膜性能的好坏决定着出水水质和处理效率。一是预处理工艺的优化是提高膜寿命的根本，经过有效地混凝、沉淀、过滤和杀菌等处理后，进入反渗透系统中的悬浮物、胶体、有机物和微生物等可以显著减少，使膜污染负荷下降。二是实行定期化学清洗和物理清洗对保持膜性能至关重要，化学清洗可除去膜表面有机物、无机盐和微生物等污染，但物理清洗是利用高压水流或者气水混合流对膜面进行冲刷，以除去附着力弱的污染物。三是适当的操作压力、流量及温度等合理操作条件可降低膜物理损伤和化学降解并延长其寿命。同时对膜压差、产水量及脱盐率这些关键参数进行监测，及时发现和治理膜污染也是提高膜寿命的一个重要途径。

3.6 改进密封胶圈设计，提升设备整体性能

反渗透水处理设备运行和检修过程中，密封胶圈

是连接各个构件和防止液体漏出的关键构件，密封胶圈设计的合理性和性能的稳定性对于设备整体性能有着至关重要的影响。传统密封胶圈由于材质老化、压力波动和温度变化容易造成密封性能降低，继而诱发液体泄漏和膜组件损坏，从而严重影响装置稳定运行及出水水质。所以，完善密封胶圈设计、增强密封胶圈耐用性和密封性能是提高设备整体性能至关重要的措施。一是选择高性能密封材料如耐化学腐蚀、耐高温、耐磨损等特种橡胶或者合成材料能有效地抵御恶劣工况老化和变形，提高密封胶圈寿命。二是对密封胶圈结构设计进行了优化，例如加大密封面宽度和接触面积、使用弹性补偿结构、设计合理安装和拆卸等，可增强密封效果、降低泄漏风险。三是充分考虑到设备运行过程中可能会碰到的压力波动和温度变化等因素，开展了密封胶圈压力-温度适应性试验，以保证其能够在多种工况下能稳定密封。四是建立密封胶圈保养和更换的完善机制，定期对密封胶圈状态进行检查，并对老化或者破损胶圈进行及时替换，防止可能发生泄漏的风险。

4 结束语

本文在对反渗透水处理设备的性能改善和稳定运行策略进行系统研究的基础上，提出了保证数据收集精确性和全面性、科学选择和设计设备、确保操作规范、结合水力学特性对工艺进行优化、延长膜的使用寿命、对密封胶圈的设计进行完善等一系列措施。实施上述措施既可以有效地提高反渗透水处理装置整体性能、降低膜污染和泄漏风险，又可以保证装置长期平稳运行和出水水质持续合格。本研究结果对促进反渗透水处理技术广泛应用和持续发展有积极指导作用。

参考文献：

- [1] 冬志裕. 反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用实践 [J]. 清洗世界, 2023, 39(10): 131-133.
- [2] 何佳. 反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用 [J]. 中华建设, 2023: 105-107.
- [3] 林洁婷. 反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用 [J]. 资源节约与环保, 2023(04): 87-90.
- [4] 陈世金, 孙理密, 刘圣东, 等. 用地紧张条件下工业污水处理工程集约化低碳化设计案例 [J]. 工业水处理, 2023, 43(09): 195-200.
- [5] 巫进. “超滤+反渗透”工艺在污水厂再生水处理中的应用 [J]. 城市道桥与防洪, 2023(06): 147-150.