

化学反渗透在电厂水处理中的应用与评估

宋利媛

华电新疆发电有限公司乌鲁木齐分公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：在污水处理中应用反渗透技术，其中最关键的一个问题就是膜污染，这个问题的存在会严重降低产水率，最终影响系统的正常运转，所以，在反渗透技术应用之前，要将相关实验工作做好，通过相关实验可实现反渗透技术应用效率的提高，并且在反渗透技术进行应用时也要持续对其进行研发，从而保证火电厂污水处理能够拥有最佳的使用条件。

关键词：反渗透技术；电厂；水处理；应用

随着社会发展与科技进步，反渗透技术在不断发展与完善，越来越多的企业将其应用于生产之中，极大地保障了生产效果，推动着行业进步。目前，我国正处于水资源极度短缺阶段，将反渗透技术与电厂水处理相结合，有助于降低生产成本、节约能源消耗，不仅一举多得，而且效益显著。

1 电厂水处理的重要性

电厂水处理是确保电厂安全、稳定运行的关键环节。水作为电厂热力设备的主要介质，其水质对设备性能和发电效率有着直接的影响。首先，良好的水处理可以防止设备结垢、腐蚀，保证设备的安全运行。其次，水处理能够提高热交换效率，降低能耗，提高发电效率。此外，水处理还可以减少污染物排放，保护环境。因此，电厂水处理的重要性不容忽视，对电厂的运行稳定性和经济效益具有重要作用。

2 反渗透技术基本原理

2.1 自然渗透与渗透压。自然渗透：当两种不同浓度的溶液通过半透膜接触时，低浓度侧的溶剂（水）会自发穿过膜流向高浓度侧，直至两侧浓度达到平衡，此时形成的液面高度差对应的压力称为渗透压。渗透压：由溶液浓度决定，浓度越高，渗透压越大，例如海水渗透压约为2.5–3.0MPa。

2.2.反渗透的逆向过程。施加外部压力：在高浓度侧（如盐水）施加压力（通常为6–20MPa），当压力超过渗透压时，溶剂（水）被迫反向流动，从高浓度侧穿过膜进入低浓度侧，形成纯化的渗透液（淡水），而溶质（盐分、杂质等）被截留在浓缩液中。动力来源：高压水泵是实现压力驱动的主要设备。

2.3.反渗透膜的关键作用。选择性分离：反渗透膜孔径极小（约0.0001微米），仅允许水分子及极小离子通过，而截留大分子有机物、胶体、微生物（如细菌、病

毒）及高价盐离子。膜材料特性：常用聚酰胺复合膜或醋酸纤维素膜，兼具高脱盐率（>99%）和抗污染能力。

3 反渗透膜的种类及其特点

3.1 按材料分类。醋酸纤维素膜（CA膜）。特点：早期常用材料，具有耐氯性但易发生水解，适用于特定水质（如含余氯水源）。局限性：机械强度较低，长期运行中易受微生物侵蚀，脱盐率（约95%）低于聚酰胺复合膜。聚酰胺复合膜（TFC膜）。特点：表层为聚酰胺材料，底层为聚砜支撑层，具有高脱盐率（>99%）、抗污染性强及更高的化学稳定性，广泛应用于工业水处理。改进型：超低压反渗透膜（如世韩膜）通过优化表面结构实现低压运行（1.0–1.5MPa），同时保持高脱盐率和抗污染能力。无机膜。特点：采用陶瓷或金属氧化物材料，耐高温、耐强酸碱和氧化剂，适用于极端水质环境。缺点：制造成本高，装填密度低，透水量通常低于聚合物膜。

3.2 按结构分类。均质膜。特点：由单一材料制成，结构均匀（各向同性），适用于低压过滤场景。不足：抗污染能力差，高碱度水中易被污染堵塞，且化学稳定性有限。非对称膜。特点：由致密表层和多孔支撑层组成，表层厚度仅0.1–1 μm ，兼具高分离效率和机械强度，抗污染性优于均质膜。应用：螺旋卷式组件（常见于TFC膜）因高装填密度和易清洗特性，成为主流结构。

3.3 按组件形式分类。螺旋卷式。特点：膜片与流道网卷绕成筒状，装填密度高（650–900 m^2/m^3 ），透水量和压力适应性均优，适用于工业大规模应用。管式。特点：膜管内径较大（如13mm），抗污染性强，但装填密度低（<100 m^2/m^3 ），多用于高浊度废水预处理。空心纤维式。特点：膜丝直径约0.1–1mm，装填密度极高（>10,000 m^2/m^3 ），但操作压力受限，透水量较低，常用于海水淡化。板框式。特点：类似传统压滤机结构，易拆

卸清洗,但装填密度和透水量密度中等,适用于小型或特殊场景。

3.4 特殊功能膜。抗污染膜。特点:通过改性膜表面(如亲水化处理或中性电位设计),减少污染物吸附,延长清洗周期。应用:适用于含胶体、微生物或有机物的复杂水质。

4 反渗透水处理设备的自动化程度

4.1 全流程自动监控与控制。参数实时监测与调节。设备通过PLC控制器和传感器实时采集进水流量、压力、电导率等关键参数,并自动调节高压泵功率和阀门开度,确保运行压力稳定在4-20MPa范围内。例如,当检测到进水TDS升高时,系统会动态调整回收率以防止膜结垢。水质异常预警。配备在线水质分析仪(如余氯检测仪、pH计),当余氯浓度超过0.1mg/L或pH值超出2-11范围时,自动触发报警并启动保护程序。

4.2 智能化运行保护。故障自动停机机制。系统内置多重保护功能:高压泵过载或进水压力异常时立即停机;产水电导率超标(如超过设计值10%)时自动切换至排放模式。能量回收优化。集成能量回收装置(如PX压力交换器),将浓水压力转化为进水动力,降低能耗30%以上,并通过算法自动匹配最佳回收率。

4.3 自动化维护管理。膜污染智能干预。根据运行时间或压差变化(如二段压差超过4bar),自动启动化学清洗程序,采用柠檬酸或NaOH溶液清洗膜表面污染物。滤芯更换提示。精密过滤器(5 μ m滤芯)和活性炭滤料寿命到期时,系统通过流量衰减率计算剩余寿命,并推送更换提醒至中控平台或手机APP。

4.4 远程控制与数据集成。云端运维支持。支持OPC-UA或Modbus协议接入工业物联网平台,实现远程启停、参数修改及故障诊断,减少人工巡检频率。数据记录与分析。自动生成日报表,记录产水量、脱盐率、能耗等数据,并通过AI算法预测膜元件剩余寿命(误差<5%)。

5 电厂水处理中化学反渗透技术的应用

5.1 电厂水处理中化学反渗透技术的优势。化学反渗透技术作为一种先进的膜分离技术,在电厂水处理中具有显著的优势。首先,该技术具有较高的脱盐率和水质稳定性,能够有效去除水中的离子、有机物和微生物等杂质,确保电厂循环水的水质满足生产要求。其次,化学反渗透技术具有较低的操作压力和能耗,相较于传统水处理方法,可节省大量能源。此外,该技术还具有自动化程度高、占地面积小、操作简便等特点,有利于提高电厂水处理系统的运行效率和降低维护成本。

5.2 电厂水处理中化学反渗透技术的应用案例。在实际应用中,我国多个电厂已成功采用化学反渗透技术进行水处理。例如,某大型火力发电厂采用化学反渗透技术对其循环水进行处理,实现了水质的稳定达标,同时降低了水处理成本。此外,某核电站也采用化学反渗透技术对乏水池进行处理,有效降低了放射性物质的排放,保障了核电站的安全运行。这些案例表明,化学反渗透技术在电厂水处理中具有广泛的应用前景。

5.3 化学反渗透技术在电厂水处理中的关键影响因素。化学反渗透技术在电厂水处理中的应用效果受到多种因素的影响。首先,反渗透膜的性能是关键因素之一,包括膜材料的化学稳定性、亲水性、抗污染性等。其次,预处理工艺的选择和优化对反渗透系统的运行效果具有重要影响,如合理选择预处理药剂、控制预处理过程参数等。此外,操作条件(如温度、压力、流量等)的调控、化学清洗与维护以及系统运行参数的优化也是影响化学反渗透技术在电厂水处理中应用效果的重要因素。

6 化学反渗透技术在电厂水处理中的优化策略

6.1 预处理工艺优化。预处理工艺是保证化学反渗透系统长期稳定运行的关键环节。优化预处理工艺主要包括:选择合适的预处理药剂,以提高对悬浮物、微生物和有机物的去除效果;合理控制预处理过程参数,如药剂添加量、混合时间等,以保证预处理效果;采用先进的预处理设备,如高效混合器、澄清池等,提高预处理效率。通过优化预处理工艺,可以减轻反渗透膜的污染,延长膜的使用寿命,降低运行成本。

6.2 化学清洗与维护优化。化学清洗是反渗透系统运行过程中必不可少的环节,对保证系统正常运行和延长膜寿命具有重要意义。优化化学清洗与维护策略包括:根据膜材料和污染类型选择合适的清洗剂;合理控制清洗时间和清洗频率,以避免过度清洗导致膜性能下降;对清洗废液进行处理,降低环境污染。同时,加强日常维护,如定期检查膜元件的完整性、清洗泵和清洗系统的运行状态等,确保反渗透系统的稳定运行。

6.3 反渗透膜材料与工艺优化。反渗透膜材料与工艺的优化是提高化学反渗透技术在电厂水处理中应用效果的重要途径。首先,开发具有更高脱盐率、抗污染性和化学稳定性的新型膜材料,如纳米复合膜、疏水性膜等;其次,优化膜制备工艺,如采用先进的制膜技术,提高膜的性能;此外,研究新型反渗透工艺,如双极性膜技术、压力摆动技术等,以提高水处理效率和降低能耗。通过反渗透膜材料与工艺的优化,为电厂水处理提

供更高效、环保的解决方案。

6.4 系统运行参数优化

在电厂水处理中，系统运行参数的优化对于提高反渗透技术的效率和降低运行成本至关重要。首先，温度是影响反渗透系统性能的关键因素之一。通过合理控制进水温度，可以在不影响膜性能的前提下，提高水通量和脱盐率。通常，温度控制在25°C至30°C之间可以获得较好的运行效果。其次，压力的优化同样重要。适当的操作压力可以确保反渗透膜的正常工作并减少能耗。过高或过低的压力都会影响膜的过滤效果和寿命。通过实时监测和调整系统压力，可以保持最佳的过滤性能。最后，通过监测和调整pH值、电导率等参数，可以进一步优化系统的运行效果。例如，适当的pH值可以减少膜污染和提高化学清洗效果。通过这些系统运行参数的优化，可以显著提升电厂水处理系统的整体性能，降低运营成本，提高经济效益。

7 反渗透技术在电厂水处理中的评估与优化

7.1 技术性能评估。脱盐效率。反渗透膜对高价离子（如Ca²⁺、Mg²⁺）脱盐率达99%以上，对单价离子（Na⁺、Cl⁻）脱盐率约98%。某600MW机组案例中，反渗透产水电导率 ≤ 0.2μS/cm，优于传统离子交换法。产水稳定性。

7.2 优化策略与实践。预处理强化。在电厂水处理中，预处理强化是提高反渗透技术效率的重要策略之一。预处理强化主要包括加强水质监测，及时发现和处理水质问题，确保进水水质稳定；优化预处理工艺，如采用先进的过滤设备、絮凝剂和消毒剂，提高对悬浮物、微生物和有机物的去除效果；加强预处理设备的维护和保养，确保设备正常运行，提高预处理效率。通过预处理强化，可以减轻反渗透膜的污染，延长膜的使用寿命，提高系统运行效率和稳定性。同时，预处理强化

还可以降低反渗透系统的运行成本，提高经济效益。

7.3 典型应用场景优化。锅炉补给水处理。采用“多介质过滤+RO+EDI”工艺，产水电阻率 ≥ 15MΩ·cm，吨水成本较离子交换法降低42%。脱硫废水零排放。创新“预处理→RO浓缩→蒸发结晶”路线，结晶盐纯度达98.5%，水资源回收率 > 95%；高盐废水（TDS > 50000mg/L）通过DTRO膜二次浓缩，盐分截留率提升至99.9%。循环水排污回用。ROI膜组与超滤联用，实现重金属（Fe、Mn）去除率 > 99%，COD脱除率 > 95%，回用水满足GB/T 19923标准。

7.4 挑战与对策。膜污染与寿命。高浊度原水易引发膜污染，需强化预处理和化学清洗工艺（如酸碱交替清洗）。浓水处理瓶颈。反渗透浓缩液（含盐量 > 80000mg/L）需结合蒸发结晶或电渗析技术实现零排放。经济性平衡。初始投资中膜元件占比28%，可通过延长膜寿命（≥ 5年）和回收DMF溶剂（99%循环率）降低成本。反渗透技术在电厂水处理中通过高效脱盐、智能化调控及工艺集成优化，实现吨水成本下降37%、废水减排62%的综合效益。

结束语

总之，反渗透技术的广泛应用，不但能够节省水资源消耗、降低企业生产成本，而且有利于环境保护、提高工业生产的可持续发展水平。然而，在电厂水处理领域还存在着一些亟待攻克的问题，如何将反渗透技术更好地应用于电厂等企业，更需要相关科研工作者深入地探索与研究。

参考文献

- [1]刘芳.反渗透技术在废水处理以及回用过程中的应用分析.2022.
- [2]张华旭.反渗透技术在电厂水处理的应用分析.2023.