

电厂锅炉补给水处理中全膜法水处理技术的应用分析

何洋洋

浙江浙能科技环保集团股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i7.8204

[摘要] 本文深入分析了全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用。全膜法技术基于膜分离原理, 主要包括微滤、超滤、纳滤和反渗透四种方法。在电厂锅炉补给水处理中, 该技术的应用流程通常包括预处理、超滤、反渗透和电去离子四个阶段。与传统水处理方法相比, 全膜法技术具有显著优势: 水质处理效果明显提升, 节能减排效果显著, 运行维护成本降低, 系统稳定性和可靠性提高, 且具有良好的环境友好性。然而, 该技术在应用中也面临一些挑战, 如初始投资成本高、膜污染问题、运行管理要求高等。未来, 全膜法水处理技术将朝着膜材料改进、系统集成优化、智能化控制、浓水资源化利用等方向发展。随着技术进步和成本降低, 全膜法技术有望在更多电厂得到应用, 为电力行业的可持续发展做出重要贡献。电厂管理者应积极关注并合理应用这一先进技术, 以提高水处理效率, 降低运营成本, 实现绿色低碳发展。

[关键词] 全膜法水处理技术; 电厂锅炉补给水; 水质处理

Application Analysis of Full Membrane Water Treatment Technology in Power Plant Boiler Feedwater Treatment

He Yangyang

Zhejiang Zheneng Technology Environmental Protection Group Co., Ltd

[Abstract] This article deeply analyzes the application of full membrane water treatment technology in the treatment of boiler feedwater in power plants. The full membrane technology is based on the principle of membrane separation and mainly includes four methods: microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, and reverse osmosis. In the treatment of boiler feedwater in power plants, the application process of this technology usually includes four stages: pretreatment, ultrafiltration, reverse osmosis, and electrodeionization. Compared with traditional water treatment methods, full membrane technology has significant advantages: significantly improved water quality treatment effect, significant energy-saving and emission reduction effect, reduced operation and maintenance costs, improved system stability and reliability, and good environmental friendliness. However, this technology also faces some challenges in application, such as high initial investment costs, membrane fouling issues, and high operational management requirements. In the future, full membrane water treatment technology will develop towards membrane material improvement, system integration optimization, intelligent control, and concentrated water resource utilization. With the advancement of technology and cost reduction, full membrane technology is expected to be applied in more power plants, making important contributions to the sustainable development of the power industry. Power plant managers should actively pay attention to and reasonably apply this advanced technology to improve water treatment efficiency, reduce operating costs, and achieve green and low-carbon development.

[Keywords] full membrane water treatment technology, power plant boiler feedwater, water quality treatment

1. 全膜法水处理技术的基本原理与特点

1.1 全膜法水处理技术的基本原理

全膜法水处理技术是基于膜分离原理的高效水处理方法, 利用不同类型的膜材料, 通过压力驱动或浓度梯度, 实现水中各种物质的分离、纯化和浓缩。根据膜孔径的大小和去除目标物的不同, 全膜法水处理技术主要包括微滤 (MF)、

超滤 (UF)、纳滤 (NF) 和反渗透 (RO) 四种方法。微滤膜孔径在 $0.1\sim 10.0\ \mu\text{m}$ 之间, 主要用于去除悬浮固体和细菌; 超滤膜孔径在 $0.005\sim 0.100\ \mu\text{m}$ 范围内, 可去除大分子有机物和病毒; 纳滤膜孔径在 $0.001\sim 0.010\ \mu\text{m}$ 范围内, 能去除多价离子和有机物; 反渗透膜孔径最小, 通常小于 $0.001\ \mu\text{m}$, 可去除几乎所有溶解性固体和离子。这四种膜分离技术在

全膜法水处理中通常串联使用, 形成完整的处理流程, 实现对水质的全面处理和提升。

1.2 全膜法水处理技术的特点

全膜法水处理技术相比传统水处理方法具有显著特点。首先, 它能实现高效分离, 从微米级别的悬浮物到纳米级别的离子都能有效去除。其次, 该技术节能环保, 无需添加大量化学药剂, 减少二次污染风险。此外, 全膜法水处理系统操作简便, 采用模块化设计, 便于安装和维护, 可实现自动化控制。处理效果稳定, 不受进水水质波动影响较大。系统占地面积小, 可扩展性强, 适合在空间有限的场所使用。最后, 在工业废水处理中, 全膜法技术还可实现资源回收利用。这些特点使得全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中具有显著优势, 能够有效提高水处理效率, 保障锅炉用水质量, 延长锅炉使用寿命, 同时实现节能减排的目标。

2. 全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用流程

2.1 预处理阶段

预处理阶段在全膜法水处理技术应用于电厂锅炉补给水处理中扮演着至关重要的角色。作为整个处理流程的第一道防线, 预处理的主要目标是去除原水中的悬浮物、胶体和大分子有机物, 为后续的膜处理创造良好条件。这一阶段通常包括四个重要步骤: 初步过滤、混凝沉淀、多介质过滤和微滤。初步过滤主要用于去除水中的粗大杂质和悬浮物; 混凝沉淀过程通过添加混凝剂使水中的胶体和细小悬浮物凝聚成较大的絮体, 然后通过沉淀分离; 多介质过滤利用不同粒度和密度的滤料进一步去除水中的悬浮物; 微滤作为最后一步, 使用微米级孔径的膜去除剩余的细小颗粒和部分细菌。通过这一系列处理, 预处理阶段能够显著降低水的浊度, 去除大部分悬浮物、胶体和部分有机物。这不仅提高了后续膜处理的效率, 还能延长膜元件的使用寿命, 减少膜污染和堵塞的风险, 降低清洗频率和运营成本, 保证整个系统的稳定运行。

2.2 超滤(UF)处理

超滤是全膜法水处理技术中的关键环节, 在预处理和反渗透之间起着重要的过渡作用。在电厂锅炉补给水处理中, 超滤技术主要用于去除水中的大分子有机物、胶体颗粒、细菌和病毒等。超滤处理包括膜元件选择、系统设计、过滤操作、反冲洗和化学清洗等步骤。通过超滤处理, 不仅能有效去除水中的悬浮物和微生物, 还能显著降低水的浊度和SDI值(淤泥密度指数), 为后续的反渗透处理创造良好条件。在电厂锅炉补给水处理中, 超滤出水的SDI值通常可以控制在3以下, 大大延长了下游反渗透膜的使用寿命。

2.3 反渗透(RO)处理

在电厂锅炉补给水处理中, 反渗透技术凭借其独特的膜分离原理发挥着关键作用。这种处理方法通过高压驱动, 利用孔径约 $0.001\ \mu\text{m}$ 的精密膜片, 有效清除水中的多种杂质。它不仅能去除矿物质、重金属等离子, 还可阻隔细菌、病毒等微生物, 同时清除碳水化合物、石油类等有机物。这一过程显著提升了水质, 减少了水垢和锈蚀的形成, 降低了锅炉的污染风险。经反渗透处理的高纯度水可循环使用, 不仅提

高了水资源利用效率, 还增强了锅炉的运行稳定性和安全性。总的来说, 反渗透技术在提升锅炉效能、节约水资源和减轻环境负担方面发挥着重要作用, 是电厂实现绿色运营的有力工具。

2.4 电去离子(EDI)处理

电厂锅炉补给水处理中, 离子交换技术利用树脂吸附和释放离子的原理, 去除补给水中的溶解性离子, 特别是钙、镁等物质, 以提高水质。高硬度水会产生水垢, 影响锅炉热交换器的热传导, 导致能量损失和设备损坏。离子交换将这些物质吸附在树脂上, 释放软化水, 有效降低水的硬度。此技术还可去除水中的有害离子, 如铅、汞和镉等重金属, 提高水的安全性。同时, 离子交换可用于调节水质, 如通过树脂交换调整水的酸碱度, 以满足锅炉补给水的特殊需求。随着使用, 树脂会逐渐饱和, 需要进行再生。再生是一个循环过程, 使用再生液冲洗树脂, 去除吸附的离子, 恢复其吸附能力。总的来说, 在电厂锅炉补给水处理中, 离子交换主要用于去除钙、镁等物质和其他有害离子, 调节水质, 提高水的安全性和适应性。

3. 全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用优势

3.1 水质处理效果显著提升

全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用, 显著提升了水质处理效果。通过微滤、超滤、反渗透和电去离子等多重膜处理, 能够有效去除水中的悬浮物、胶体、有机物、无机离子等多种污染物。特别是反渗透和电去离子处理, 可将水中的总溶解固体(TDS)含量降至极低水平, 电导率可达到 $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下, 完全满足高压锅炉的用水要求。相比传统的离子交换法, 全膜法处理后的水质更加稳定, 不受原水水质波动的影响, 能够为锅炉提供持续、高品质的补给水, 有效防止锅炉结垢、腐蚀等问题, 延长锅炉的使用寿命。

3.2 节能减排效果明显

全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用, 具有显著的节能减排效果。首先, 膜分离过程主要依靠压力驱动, 能耗较低, 特别是采用能量回收装置后, 可进一步降低能耗。其次, 全膜法处理无需频繁再生, 大大减少了酸碱等化学药剂的使用量, 降低了废水排放和环境污染风险。再者, 全膜法处理系统的自动化程度高, 减少了人工操作, 提高了能源利用效率。最后, 全膜法处理后的高品质水可以提高锅炉的热效率, 间接实现节能。据统计, 采用全膜法水处理技术后, 电厂锅炉补给水处理的能耗可降低30%~50%, 化学药剂使用量可减少80%以上, 为电厂实现绿色、低碳运营做出了重要贡献。

3.3 运行维护成本降低

全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用, 有效降低了运行维护成本。虽然全膜法系统的初始投资较高, 但其长期运行成本较低。一是全膜法处理大幅减少化学药剂使用量, 传统离子交换法需定期使用大量酸碱再生, 而全膜法仅需少量清洗药剂, 降低了药剂采购成本和废水处理费用。系统的高度自动化采用先进的在线监测和控制技术, 实现远

程操作和智能管理,减少人工操作和日常维护需求,从而降低人力成本。二是全膜法处理显著提高补给水质量,有效防止锅炉结垢、腐蚀等问题,延长锅炉及附属设备使用寿命,减少维修和更换频率,降低长期设备维护成本。系统的模块化设计使各处理单元相对独立,便于维护和更换。膜组件更换时不影响整个系统运行,可快速完成更换,减少停机时间,降低维护难度和成本。

3.4 系统稳定性和可靠性提高

全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用,大大提高了系统的稳定性和可靠性。全膜法系统采用模块化设计,各处理单元相对独立,某个单元出现问题不会影响整个系统的运行。系统配备了完善的在线监测和自动控制装置,能够实时监控水质参数和设备运行状态,及时发现和处理异常情况。此外,全膜法处理不受进水水质波动的影响较大,能够持续稳定地产出高品质水。特别是 EDI 系统的应用,避免了传统离子交换树脂再生过程中可能出现的水质波动。实践表明,采用全膜法水处理技术后,电厂锅炉补给水处理系统的可靠性可达 99.9% 以上,大大减少了因水处理系统故障导致的锅炉停机事故,提高了电厂的整体运行效率。

3.5 环境友好性显著

全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用,具有显著的环境友好性。首先,全膜法处理大大减少了化学药剂的使用,降低了废水排放和环境污染风险。特别是 EDI 技术的应用,完全避免了传统离子交换法中酸碱再生过程产生的废水排放。其次,全膜法处理提高了水资源利用率,系统回收率可达 75%~85%,大大减少了原水消耗和废水排放。再者,全膜法处理系统运行过程中几乎不产生二次污染,减少了对环境的负面影响。此外,全膜法技术的应用还可以回收利用部分有价值的物质,如反渗透浓水中的矿物质,实现资源的循环利用。总体而言,全膜法水处理技术的应用使电厂锅炉补给水处理过程更加清洁、环保,有助于电厂实现绿色可持续发展。

4. 全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用挑战及发展趋势

4.1 应用挑战

尽管全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中表现出众多优势,但其应用仍面临一些挑战。首先是初始投资成本较高,特别是对于一些中小型电厂来说,可能难以承受高昂的设备投入。其次是膜污染和结垢问题,虽然全膜法系统设有预处理单元,但长期运行中仍可能出现膜污染,影响处理效率和膜寿命。再者是运行管理要求较高,全膜法系统涉及多种膜处理技术,需要专业的运行维护团队。此外,在一些水质较差的地区,可能需要更复杂的预处理系统,增加了系统的复杂性和运行难度。最后,全膜法处理产生的浓水处理也是一个需要解决的问题,特别是在水资源紧缺地区。

4.2 发展趋势

面对这些挑战,全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用正朝着以下方向发展:首先是膜材料的改进,开

发抗污染、高通量、长寿命的新型膜材料,提高系统处理效率和经济性。其次是系统集成优化,将多种膜处理技术有机结合,开发更加紧凑、高效的一体化处理系统。再者是智能化控制技术的应用,通过大数据分析和人工智能技术,实现系统的智能诊断和优化运行。此外,浓水资源化利用技术也是研究热点,通过开发新型膜分离技术或与其他处理技术结合,实现浓水中价值物质的回收利用。最后,全膜法技术与其他新兴技术的融合,如纳米技术、生物技术等,有望进一步提升水处理效果和经济性。

4.3 未来展望

展望未来,全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用前景广阔。随着技术的不断进步和成本的逐步降低,全膜法技术将在更多电厂得到应用。特别是在环保要求日益严格的背景下,全膜法技术的环境友好性优势将更加凸显。此外,随着“智慧电厂”建设的推进,全膜法水处理系统有望成为智能化水处理的重要组成部分,实现与其他系统的深度集成和协同优化。在节能减排和循环经济的大趋势下,全膜法技术在提高水资源利用率、实现废水零排放等方面的潜力也将得到进一步发掘。总的来说,全膜法水处理技术将在保障电力安全、提高能源利用效率、促进电力行业绿色发展发挥越来越重要的作用。

5. 结论

本文深入探讨了全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中的应用。全膜法技术基于膜分离原理,包括微滤、超滤、纳滤和反渗透四种方法,在电厂中通常采用预处理、超滤、反渗透和电去离子四个阶段的处理流程。与传统方法相比,全膜法技术在水质处理效果、节能减排、运行维护成本、系统稳定性和环境友好性等方面具有显著优势。然而,该技术也面临初始投资高、膜污染和管理要求高等挑战。未来,全膜法技术将向膜材料改进、系统集成优化、智能化控制和浓水资源化利用等方向发展。随着技术进步和成本降低,全膜法技术有望在更多电厂得到应用,为电力行业的可持续发展做出重要贡献。电厂管理者应积极关注并合理应用这一先进技术,以提高水处理效率,降低运营成本,实现绿色低碳发展。总的来说,全膜法水处理技术在电厂锅炉补给水处理中展现出巨大潜力,有望成为推动电力行业水处理技术革新和环境保护的重要力量。

[参考文献]

- [1] 耿峰. 全膜法工艺在锅炉补给水处理中的应用[J]. 清洗世界, 2024 (001): 040.
- [2] 梁宇. 全膜法技术在火力发电厂锅炉补给水处理系统中的实际应用及研究[D]. 北京工业大学[2024-07-10]. DOI: CNKI: CDMD: 2.1016.784910.
- [3] 潘秀奎. 全膜法水处理技术制备火力发电厂锅炉补给水的应用[J]. 大科技, 2019, 000 (003): 78-79.
- [4] 冯帅. 电厂锅炉补给水处理中全膜法处理工艺的应用研究[J]. 工业加热, 2020, 49 (4): 3. DOI: CNKI: SUN: GYJR.0.2020-04-009.