

火力发电厂反渗透膜抑菌预处理技术研究

崔国翼

大唐国际托克托发电公司

DOI:10.12238/etd.v6i4.15480

[摘要] 本文深入分析了火力发电厂反渗透膜生物污染的机理,探讨了微生物在反渗透膜表面附着、生长和繁殖的过程。针对现有抑菌预处理技术的不足,研究了一种新型复合抑菌预处理技术,通过实验验证了该技术的有效性和可行性。结果表明,该技术能够显著降低反渗透膜的生物污染程度,提高膜的运行性能和使用寿命。

[关键词] 火力发电厂; 反渗透膜; 生物污染; 复合抑菌; 预处理技术

中图分类号: TM62 **文献标识码:** A

Research on Antibacterial Pretreatment Technology of Reverse Osmosis Membranes in Thermal Power Plants

Guoyi Cui

Datang International Tuoketuo Power Generation Company

[Abstract] This paper deeply analyzes the mechanism of biological contamination of reverse osmosis membranes in thermal power plants and explores the process of microbial attachment, growth and reproduction on the surface of reverse osmosis membranes. In view of the deficiencies of the existing antibacterial pretreatment technologies, a new type of composite antibacterial pretreatment technology was studied, and the effectiveness and feasibility of this technology were verified through experiments. The results show that this technology can significantly reduce the biological contamination degree of reverse osmosis membranes and improve the operational performance and service life of the membranes.

[Key words] thermal power plant; Reverse osmosis membrane Biological contamination Compound antibacterial Pretreatment technology

引言

随着水资源短缺问题的日益严峻,火力发电厂作为用水大户,其水处理技术的选择和应用显得尤为重要。反渗透技术作为一种高效的水处理技术,被广泛应用于火力发电厂的锅炉补给水、循环冷却水等系统的处理中。然而,反渗透膜在长期运行过程中,容易受到生物污染的影响,导致膜性能下降、通量减少、运行压力升高等问题,严重影响了火力发电厂的正常运行和经济效益。

1 火力发电厂反渗透膜生物污染机理分析

1.1 反渗透膜概述

1.1.1 反渗透膜的结构和工作原理

这种膜归属于半透膜范畴,该膜的孔隙尺度不大,普遍尺寸不超过纳米级别,准许水分子穿行,有效阻隔了多数盐分及有机物。在反渗透操作阶段,实现水分子逆向移动,实现水质的去盐与净化。施加的压力必须超过渗透压水平,调整压力值应依据原水盐分含量,面对高盐废水,处理时压力一般较高,以实现高效净化。

1.1.2 探讨火力发电厂中反渗透膜技术的运用

针对火力发电行业,锅炉补给水处理依赖反渗透膜技术,同时实行循环冷却水的闭路循环。采用反渗透技术,可有效去除水中的盐分、有机物及微生物等杂质成分,保障发电设施的平稳运行。经过处理的锅炉补给水可显著减少水垢的形成,降低设备腐蚀率。采用闭路循环系统,可显著降低水资源的使用量,与电厂节能降耗目标相一致。

1.2 生物污染的定义和特点

1.2.1 生物污染的定义

微生物(诸如细菌、真菌、藻类等)在反渗透膜上滋生,形成生物膜状体,致使膜性能降低的现象。此类微生物多来自原水,部分微生物可能在设备运行时,因条件适宜而繁衍。生物膜逐步在膜面积聚,破坏了膜的水渗透效率。

1.2.2 生物污染的特点

生物污染的普遍性、隐秘性及难以根除性显著。微生物在膜表面的附着与繁殖,动态性突出。生物膜一旦形成,初期污染

往往不易被人察觉,直到膜通量明显减少后才被察觉,此时清理的难度明显加大,可能引发膜的永久性损害。

1.3 生物污染的机理

1.3.1 微生物在膜表面的附着

微生物在反渗透膜表面的吸附,是生物污染的初始阶段。该过程受众多因素的制约,影响附着过程的因素有膜表面的物理化学特性、水流速度、水温及水质等。微生物借助分泌的黏附物质,如多糖、蛋白质等,与膜表面结合,构建稳定的附着体系。粘附物质促进了微生物与膜面的连接,即便水流冲击力大,也难以使其脱落,为生物膜的形成打下基础。

1.3.2 微生物的生长和繁殖

膜表面寄生的微生物,在适宜的环境里,以水中的有机成分及营养为食,持续进行新陈代谢,不断产出并排放大量代谢废物及分泌物。这些物质催化微生物的增殖与繁衍,形成复杂的生物膜层。某些代谢产物具有粘性特质,提高了生物膜的紧密性,也造成水体营养物质的流失,导致后续水质处理的不稳定性。

1.3.3 生物膜的形成和影响

微生物不断生长繁衍,膜表面被微生物形成的一层紧密的生物附着物所覆盖。生物膜引发膜孔的阻塞,降低膜孔的通行量,也对膜的选择性构成干扰,导致脱盐效率的降低。生物膜引发水质出现异味及色彩上的改变,改变水质的感官属性。膜通量减小会增加设备能耗,脱盐效率的降低可能导致后续用水盐分含量超标,对发电设备的稳定和安全构成威胁。

1.4 影响反渗透膜生物污染的因素

1.4.1 进水水质

水质问题是影响反渗透膜生物污染的关键要素,水体中有有机物及氮、磷等营养浓度上升,微生物繁殖速度加快,污染状况恶化明显。若在进水前未能有效排除这些营养物质,即便后续采取杀菌手段,也难以有效抑制微生物的繁衍。应整合预处理手段以保障进水水质。

1.4.2 操作条件

工作环境因素,诸如水温、pH值及流速等,也对反渗透膜的生物污染有所影响,高温环境会促进微生物的生长与繁衍,较低的pH值对微生物活性产生抑制作用,增加水流速度,可减少微生物在膜面上的滞留时间,进而降低生物污染的程度。运行调整需与原水状况相适应,若夏季水温较高,应相应降低操作温度或加强消毒作业。

1.4.3 膜材料的性质

膜材料的特性,诸如表面粗糙、亲水性和电荷等,也对微生物的附着与生长有显著影响。膜材料表面越粗糙,吸附微生物的倾向越明显,膜材料若亲水性佳,更有利于微生物的附着与生长。膜表面的电荷状况对微生物的附着有直接关联,采用表面特性调整的改性膜材料已存在,提升表面疏水或调整电荷特性,降低微生物的粘附率,提高抗污效率。

2 新型复合抑菌预处理技术的研究

2.1 现有抑菌预处理技术的不足

火力发电厂普遍采用的抑菌预处理技术涉及加氯、臭氧及紫外线消毒等。此类技术虽能抑制微生物的生长繁殖,但存在不少缺陷。采用氯消毒法,可能会产生有害的副产物;臭氧消毒技术的设备购置及日常运行费用均属较高水平,紫外线消毒的效果受水质状况影响较大。构建一种新型高效、环保的复合抑菌预处理技术具有重要意义。以氯消毒为例,产生的特定副产物,长期累积可能会对后续用水安全埋下隐患;臭氧消毒设备的投资成本明显比氯气消毒设备高,且臭氧生成电力消耗高,运行费用一直居高不下;面对原水浊度较高的环境,紫外线消毒,紫外光易受悬浮物干扰,消毒效果显著下降,难以实现抗菌效果的稳定性。

2.2 新型复合抑菌剂的设计与制备

2.2.1 抑菌剂的选择原则

抑菌剂阶段,选择抑菌剂需考虑其高效性、广谱性、低毒性及环保特性,需评估抑菌剂与反渗透膜间的匹配度,防止膜体受损。高效性要求抑菌剂在低浓度抑制常见病原微生物;需具备广泛的适用性,针对细菌、真菌、藻类等多种微生物,低毒性需通过急性毒性试验进行核实,保障人体及环境安全无害;其环保要求体现为生物降解性,无污染残留物;就膜相容性考察,必须借助浸泡实验进行检验,以确保膜的各项性能指标,即亲水性、孔径和机械强度。

2.2.2 复合抑菌剂的配方设计

以抑菌剂挑选准则为准绳,本研究开发了一种由多种天然抑菌成分混合的复合抑菌化合物,该复合抑菌剂展现出高效、广谱、低毒、环保等显著特性,且与反渗透膜的相容性良好。本实验采用的天然抑菌原料有茶多酚、壳聚糖和植物精油,茶多酚可破坏微生物细胞膜屏障,壳聚糖能吸附微生物并阻断其代谢活动;植物精油干扰微生物酶的活性。三者协同机制,与单一抑菌剂相比,复合抑菌剂的抑菌效果明显增强。经该配方处理后的聚酰胺反渗透膜,既无腐蚀也无溶胀,维持膜的原始状态。

2.2.3 复合抑菌剂的制备方法

将指定的天然抑菌成分按既定比例进行融合,引入适量的溶剂及添加剂,采用搅拌、加热等工序,合成了一种新型的抗菌混合物。将茶多酚与壳聚糖按既定质量比浸泡在去离子水中,按既定比例引入薄荷精油以增强抑菌效果,一并掺入适量的乳化剂,在适宜的恒温环境中进行水浴,恒速搅拌既定时长,最终滤除杂质,采用微孔滤膜,清除未溶解的残留,制得均一稳定的抗菌剂混合溶液。

2.3 实验探究新型复合抗菌预处理技术

2.3.1 实验装置和工艺流程

搭建了一台小型反渗透实验平台,对新型复合抑菌预处理技术的抗菌效果及其性能影响进行考察,实验流程由原水预处理、复合抑菌剂添加、反渗透膜分离等环节组成,该实验设备由原水储罐、石英砂过滤器、活性炭过滤器、复合抑菌剂投加装置、聚酰胺卷式反渗透膜组件、产水储罐及检测设备组成。原水预处理初期,悬浮物通过石英砂得到去除,接着采用活性炭对

有机物进行吸附,通过投加泵实施精确的复合抑菌剂添加,混合处理完毕后,液体进入反渗透膜模块,系统采用PLC进行操控,实时监视进出水压力、流量及水质参数。

2.3.2 抑菌效果的评价方法

对反渗透膜进出口水样中的微生物数量、种类及活性指标进行检测分析,探讨新型复合抑菌预处理技术的抗菌性能,评估膜表面生物污染情形,探讨抑菌剂的抗污特性,采用平板计数技术检测微生物数量,物种鉴定过程采用基因测序技术,采用ATP生物发光技术来检测活性;采用扫描电子显微镜(SEM)进行膜表面形态的观察,对表面粗糙度变化实施原子力显微镜(AFM)分析,对膜通量衰减和脱盐率变化进行跟踪,综合评估防污效果。

2.3.3 实验结果与分析

实验结果揭示,采用该技术,有效降低了反渗透膜的生物污染水平,与未掺入抑菌剂的实验组相对,实施了新型复合抑菌措施,膜进出口水样的微生物数量明显降低,种类与活性均得到有效调控,膜表面的生物污染状况明显好转,未见明显生物膜生成。实施抑菌剂投放操作后,进水微生物数量明显下降,出水活菌几乎无存;优势微生物种类明显减少,数量明显降低,且以低效能菌株占主导;运行至一定阶段,实验组膜通量衰减幅度远超对照组,脱盐效率持续维持在高水平,SEM分析表明,膜表面微生物分布稀疏,未见明显生物膜。

2.4 新型复合抑菌预处理技术的优化

2.4.1 抑菌剂投加量的优化

对抑菌剂的投加量进行修订,研究抑菌剂对膜性能及抑菌效果的影响,实验结果显现,抑菌剂投加量逐步上升,抑菌功效稳步上升,超过既定投加量范围,抑菌效果增强的势头减弱,或对膜的性能产生不利后果,找出了抑菌剂的最优投放浓度界限,实验中划分了多个投加量的梯度,在投加量未达某一数值阶段,抑菌效果大幅上升,当投加量进一步上升,抑菌效果增长缓慢,膜的接触角度增长,亲水性下降明显,通量衰减速率上升,据此确定了最适宜的投加量区间。

2.4.2 操作条件的优化

调整实验条件,诸如水温、pH值、流速等,探讨操作条件变动对新型复合抑菌预处理技术效果的影响效应,实验结果显现,适宜的操作参数对增强抗菌效能及膜质特性有促进作用,操作实施阶段,需根据实际情况对操作条件作出恰当调整,实现最佳处理成效。实验结果揭示,该温度范围内抑菌效果最佳,若温度低于该区间最低界限,抑菌效果将下降,若温度高于该区间上限,

膜材老化风险增加,pH值理想水平,抑菌效果达到顶峰,抑菌效率稳定于较高水平,超出预定区间,抑菌剂分解几率高;保持水流速度在适宜区间内为佳,若流速过低,微生物容易聚集沉淀,若水流速度超出上限,膜的压力损耗将增大,鉴于上述原因,建议在实际操作中调整水温、pH值及水流速度至适宜区间。

3 新A型复合抑菌预处理技术的应用案例分析

3.1 应用案例介绍

某火力发电厂采用反渗透技术处理锅炉补给水,但由于原水水质较差,反渗透膜经常出现生物污染问题。为了解决这个问题,该厂引入了新型复合抑菌预处理技术。通过在反渗透系统前投加新型复合抑菌剂,对原水进行预处理,有效降低了反渗透膜的生物污染程度。

3.2 应用效果分析

应用新型复合抑菌预处理技术后,该火力发电厂的反渗透膜运行性能得到了显著提升。具体表现为:膜通量增加、脱盐率提高、运行压力降低等。同时,膜清洗频率也大大降低,延长了膜的使用寿命。此外,该技术还具有良好的环保效益和经济效益。

4 结论

火力发电厂反渗透膜的生物污染主要是由于微生物在膜表面的附着、生长和繁殖所致。进水水质、操作条件和膜材料的性质等因素都会影响生物污染的程度。新型复合抑菌预处理技术能够有效降低反渗透膜的生物污染程度。该技术通过投加高效、广谱、低毒、环保的复合抑菌剂,抑制微生物的生长和繁殖,防止生物膜的形成。通过实验研究和实际应用案例的分析,验证了新型复合抑菌预处理技术的可行性和有效性。该技术能够提高反渗透膜的运行性能和使用寿命,降低运行成本和维护工作量。

[参考文献]

- [1]张林,王志远.基于物理方法的火力发电厂反渗透系统杀菌装置[J/OL].中国设备工程,2019(18):17-20[2024-10-18].
- [2]李伟,张明,赵亮.火力发电厂反渗透系统结垢原因分析及对策[J].中国电力,2021,54(08):123-128.
- [3]赵梦超.反渗透水处理设备在工业污水处理中的应用研究[J].中国设备工程,2025(4):136-138.

作者简介:

崔国翼(1998--),男,汉族,辽宁沈阳人,本科,助理工程师,主要从事电厂水处理的研究工作。