

1000MW 火电厂锅炉补给水预处理系统运行优化与水质管控

白轩琛 宁亚平

黄陵矿业沮源发电有限公司 陕西 延安 727307

摘要：1000MW 超超临界火电厂锅炉补给水预处理系统是保障机组安全经济运行的关键水处理环节。本文针对当前预处理系统运行中普遍存在的混凝加药不精准、多介质过滤器反洗不合理、超滤膜污染严重、活性炭及保安过滤器管控粗放等突出问题，系统开展了各单元运行参数优化研究，并构建了涵盖全流程水质监测、数据管理平台及智能预警的水质管控体系。优化措施可有效稳定出水水质，降低药耗与能耗，延长膜组件使用寿命，为 1000MW 机组补给水预处理系统的高效稳定运行提供技术参考。

关键词：1000MW 火电厂；锅炉补给水；预处理系统；运行优化；水质管控

引言：随着我国超超临界火电机组单机容量不断提升，1000MW 机组对锅炉补给水品质的要求日益严苛。补给水预处理系统作为水处理链的前端屏障，其运行稳定性直接影响反渗透膜寿命及机组安全经济性。然而，实际运行中普遍存在混凝加药滞后、滤料板结、膜污染加速等问题，传统固定参数运行模式已难以满足水质管控需求。本文围绕 1000MW 机组预处理系统各单元开展运行优化与全流程水质管控体系构建研究，旨在提升系统运行可靠性与制水效率。

1 1000MW 机组补给水预处理系统概述

1000MW 超超临界机组补给水预处理系统是保障锅炉给水品质的关键环节，主要去除原水中的悬浮物、胶体、有机物及部分溶解性盐类，降低后续反渗透及离子交换系统的运行负荷。系统一般采用“混凝—澄清（或沉淀）—过滤—超滤”的常规工艺路线。原水经凝聚剂投加后进入机械搅拌澄清池，实现泥水分离；出水依次通过多介质过滤器和活性炭过滤器，进一步去除残余悬浮物及有机物；随后进入超滤装置，截留水中残余胶体、大分子有机物及微生物，保障出水 SDI 值稳定达标^[1]。系统设计处理量通常为机组最大连续蒸发量的 100%~110%，约 550~650t/h。关键控制指标包括：出水浊度 $\leq 1\text{NTU}$ 、SDI₁₅ ≤ 4 、余氯 $\leq 0.1\text{mg/L}$ 。该系统运行可靠性直接影响反渗透膜寿命及机组安全经济性，是 1000MW 机组水处理链中不可替代的前端屏障。

2 预处理系统运行中的主要问题分析

2.1 混凝加药不精准导致澄清池出水波动

混凝加药是预处理系统第一道核心工序，加药精准

度直接决定澄清池出水水质，也是当前系统运行的主要短板之一。多数电厂混凝加药系统采用固定配比投加模式，未根据水源水质动态调整药剂投加量，存在严重的滞后性和盲目性。汛期水源浊度、杂质含量骤增，固定药量无法充分完成混凝反应，矾花细小松散、沉降效果差，澄清池出水浊度超标；枯水期水质清澈、杂质较少，过量投加药剂会造成药剂冗余残留，不仅增加运行成本，还会导致水体 pH 值波动，残留药剂粘附滤料、膜组件，引发二次污染。同时，加药设备计量泵精度偏差、管路堵塞、药剂溶解不充分等设备问题，进一步加剧加药不均匀问题。最终造成澄清池出水浊度、有机物含量持续波动，大幅增加后续过滤器、超滤系统的运行负荷，缩短设备使用寿命。

2.2 多介质过滤器反洗不合理导致滤料板结

多介质过滤器长期运行后，反洗工艺参数不合理是引发滤料板结、过滤效能下降的核心原因，普遍存在反洗强度、反洗时长、反洗周期管控不规范的问题。部分电厂为节约能耗，刻意缩短反洗时长、降低反洗强度，导致滤料表层截留的泥沙、胶体杂质无法彻底冲洗干净，杂质持续堆积在滤料缝隙中，逐渐压实固化。同时，系统未根据进水水质负荷调整反洗周期，水质恶劣、杂质较多时仍沿用固定反洗周期，滤料杂质堆积量持续超标。另外，反洗水流分布不均、局部滤层冲洗不彻底，以及少量破碎滤料粉末堆积，会进一步加剧滤料粘连板结。滤料板结后过滤器通水阻力大幅上升、过滤通量下降，出水杂质截留效果变差，不仅造成系统制水效率降低、能耗升高，还会导致未彻底过滤的杂质进入后端设备，引发后续设备堵塞、污染等连锁问题。

2.3 超滤系统膜污染严重导致产水率下降

超滤系统作为预处理深度过滤核心设备,膜污染是制约其运行效率的主要难题,直接造成机组补给水产水率持续下降。水源水中的胶体颗粒、藻类、微生物、溶解性有机物是造成膜污染的主要物质,预处理前端混凝、过滤工序处理不彻底,会导致大量细小杂质随水体进入超滤膜组件,附着在膜丝表面及微孔内部。长期运行下,杂质不断堆积形成滤饼层和有机污染层,堵塞膜微孔,大幅降低膜组件透水通量。现场运维存在清洗不及时、清洗药剂配比不当、清洗工艺不规范等问题,常规在线清洗无法彻底清除顽固污染,日积月累形成不可逆膜污染。机组负荷波动、进水水温水质突变,会加剧膜组件污染速率。膜污染后系统跨膜压差持续升高、产水量大幅衰减,不仅降低预处理系统制水效率,增加设备运行能耗和清洗成本,还会缩短超滤膜使用寿命,影响机组补给水稳定供应^[2]。

3 预处理系统运行参数优化

3.1 混凝加药优化

针对混凝加药不精准、出水水质波动问题,结合水源水质变化规律,开展混凝加药系统全方位参数优化,实现精准化、动态化投药。首先摒弃传统固定投加模式,建立水质联动加药机制,以原水浊度、水温、有机物含量为核心监测指标,划分汛期、枯水期、平水期三类水质工况,匹配差异化混凝剂、助凝剂投加配比。其次校准加药计量泵、流量计等设备,定期清理加药管路,保证药剂溶解充分、投加均匀,消除设备精度偏差带来的投药误差。同时优化混凝反应工艺参数,调整搅拌转速、反应停留时间,确保药剂与水体充分混合反应,提升矾花凝聚效果。搭建加药数据台账,记录不同水质下最佳投药量,形成标准化投药曲线,实现水质波动时自动微调药量。通过系列优化措施,可有效稳定澄清池出水水质,降低药剂冗余消耗,减少后续设备污染负荷,提升前端预处理稳定性。

3.2 多介质过滤器运行优化

为解决多介质过滤器滤料板结、过滤效能下降问题,结合设备运行工况,对反洗工艺、运行参数进行全面优化。首先优化反洗周期与触发机制,摒弃固定周期反洗模式,以过滤器进出口压差、出水浊度为判定依据,压差超标或出水水质异常时立即启动反洗,水质恶劣时段适当缩短反洗周期。其次优化反洗工艺参数,精准调整反洗水流强度、反洗时长、气水联合反洗配比,先通过气洗松动板结滤层,再以水洗彻底冲刷滤料缝隙

杂质,确保滤料清洁无残留。定期对过滤器进行停运检修,排查滤料磨损、板结、流失情况,及时补充、更换失效滤料,平整滤层结构。同时优化设备运行流速,根据机组制水负荷调整进水流量,避免流速过快导致杂质穿透滤层、流速过低造成杂质堆积。优化后可彻底解决滤料板结问题,稳定过滤器过滤效能,降低设备运行能耗与故障概率。

3.3 超滤系统运行优化

围绕超滤系统膜污染、产水率衰减问题,从运行管控、清洗工艺、预处理联动三个维度完成参数优化,延缓膜污染速率、恢复膜组件制水性能。首先优化超滤运行工况,根据进水水质、水温动态调整系统运行压力、过滤通量,避免高压高通量运行导致杂质快速附着膜丝,水温偏低时适当降低运行负荷,保证制水稳定性^[3]。其次优化膜清洗工艺,制定分级清洗方案,日常采用在线低压定期冲洗,清除膜表面松散杂质;定期开展化学清洗,根据污染类型精准配比酸碱清洗药剂,优化清洗时长、浸泡时间,彻底清除有机、无机顽固污染。建立超滤膜运行数据监测台账,跟踪跨膜压差、产水率、脱盐率变化,提前预判污染趋势。通过全方位优化,有效降低膜污染速率,稳定超滤系统产水效率,延长膜组件使用寿命。

3.4 活性炭过滤器运行优化

为防止活性炭过滤器失效导致 RO 膜氧化损伤,对活性炭过滤器运行、维护、更换全流程进行优化管控。首先建立活性炭滤料吸附容量监测机制,定期检测出水余氯浓度及有机物含量(COD_{mn}),以此判断滤料吸附饱和程度,改变固定周期更换模式,实现按需更换滤料,避免吸附饱和后杂质穿透。其次优化设备运行参数,调整进水流速至合理范围,确保水体与活性炭滤料有足够的接触时间,提升吸附净化效果。定期进行反洗、正洗操作,清除滤料表层堆积的悬浮杂质与藻类,防止滤料孔隙堵塞导致的吸附效能衰减。优化后可保障活性炭过滤器除余氯、除有机物效能稳定,有效防止氧化性物质进入 RO 系统,保障 RO 膜组件安全运行,降低膜氧化损伤风险。

3.5 保安过滤器运行优化

保安过滤器作为预处理最后一道精密过滤设备,承担保护超滤、RO 膜组件的关键作用,针对其运行隐患开展专项参数优化。首先优化滤芯更换管控机制,以过滤器进出口压差、运行时长、出水水质为三重判定标准,压差超标或滤芯堵塞失效时立即更换滤芯,杜绝滤芯超

期使用导致杂质穿透、后端设备受损的问题。其次优化设备运行工况，匹配机组制水负荷调整进水压力，避免压力波动过大造成滤芯破损、过滤失效，稳定设备运行流量，保证精密过滤效果。定期对过滤器壳体、管路进行冲洗消杀，清除内壁附着的杂质、微生物，避免二次污染。同时规范滤芯选型与安装标准，根据进水水质匹配高精度滤芯，严格把控安装密封性，杜绝漏滤问题。建立滤芯运行台账，统计更换周期、故障情况，形成标准化运维流程，通过精细化优化，全面提升保安过滤器拦截效能，为后端精密水处理设备提供可靠防护。

4 全流程水质管控体系构建

4.1 水质监测体系设计

为实现预处理系统全流程水质精准管控，规避水质波动引发的设备故障与水质超标问题，搭建全覆盖、多层次的水质监测体系。监测体系覆盖原水取水、混凝澄清、多级过滤、超滤产水等全工艺节点，明确各环节核心监测指标，原水重点监测浊度、水温、pH、有机物、藻类含量；工序过程水监测余氯、压差、悬浮物、污染指数；最终产水重点监测浊度、SDI 指数、可溶性杂质含量。采用在线监测与人工抽检相结合的模式，在线监测设备实时采集水质实时数据，人工每日定时抽样化验，校准在线设备数据偏差，保障监测数据精准可靠。同时合理布设监测点位，消除监测盲区，针对水质波动较大的汛期、换季时段，加密监测频次，实现水质变化实时捕捉、全程可控。通过标准化、全覆盖的监测体系，全面掌握预处理全流程水质状态，为参数调整、故障处置、系统优化提供精准数据支撑。

4.2 水质数据管理平台

依托智能化技术搭建专用水质数据管理平台，实现预处理系统水质数据集中存储、智能分析、高效管控，打破传统人工记录、数据零散、分析滞后的弊端。平台对接现场所有在线水质监测设备、运行参数采集设备，自动采集各工艺节点水质数据、设备运行参数，实时上传至平台数据库，实现数据自动归档、动态更新。平台具备数据查询、统计分析、曲线生成功能，可自动生成日、周、月水质报表，直观展示水质变化趋势、设备运行状态，便于运维人员精准掌握系统运行规律。同时设置数据权限分级管理，规范数据录入、调取、留存流程，保障数据真实性、完整性、安全性^[4]。另外，平台可关联历史运行数据，对比不同工况、不同季节水质变

化规律，为运行参数优化、设备运维策略调整提供数据支撑，实现水质管理从人工经验管控向数据化精准管控转型。

4.3 智能预警与异常处置机制

基于水质监测体系与数据管理平台，构建智能化预警、标准化处置的全闭环水质管控机制，全面提升预处理系统异常问题处置效率。结合机组设计标准与设备运行限值，在平台内录入各水质指标、设备参数预警阈值，当水质超标、设备参数异常时，系统自动触发声光预警、弹窗提示，同步推送异常信息至运维终端，实现故障提前预判、及时发现。建立分级预警机制，根据异常严重程度划分一般、重点、紧急三级预警，匹配差异化处置流程。同时制定标准化异常处置预案，明确水质波动、设备污染、过滤失效等各类故障的处置步骤、责任人员、整改时限，规范应急处置流程。搭建异常问题台账，记录预警问题、处置过程、整改结果，定期复盘分析问题成因，优化运行参数与管控策略，形成“监测-预警-处置-复盘-优化”的闭环管控体系，持续保障预处理系统安全、稳定、高效运行。

结束语

1000MW 机组补给水预处理系统的稳定运行是保障机组安全经济运行的基础。本文通过对混凝加药、过滤器反洗、超滤清洗、活性炭及保安过滤器等核心单元的参数优化，并构建全流程水质监测与智能预警管控体系，可有效解决出水水质波动、设备污染加速等运行难题。未来应进一步推进预处理系统智能化改造，结合大数据与 AI 技术实现加药、反洗、清洗的自适应调控，持续提升 1000MW 机组水处理系统的自动化与精细化管控水平。

参考文献

- [1] 张俊萍. 火电厂锅炉补给水处理系统运行故障及对策分析 [J]. 电脑爱好者 (普及版) (电子刊), 2022(9):2827-2828.
- [2] 徐浩然, 朱彬源, 冯向东, 等. 中压紫外杀菌系统处理火电厂锅炉补给水的应用研究 [J]. 现代化工, 2022, 42(S2):390-394.
- [3] 杜岳鹏. 火电厂锅炉补给水处理系统调试技术研究 [J]. 中国高新科技, 2025, (12):52-54.
- [4] 王淑莉, 罗国甘, 许世朋. 火电厂锅炉补给水处理系统调试安全风险防控 [J]. 江西电力, 2022, 46(9):50-52.