

电厂化学水处理制水设备的应用要点研究

朱 辉

鄂温克电厂 内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘要：随着电力行业向高参数、大容量发展，电厂化学水处理制水设备面临更高技术要求。当前，全膜分离技术、离子交换技术及自动化控制系统成为核心应用方向。设备需实现集中化布置以提升空间利用率，通过超滤、反渗透等工艺实现高效脱盐，并依托智能监控系统保障水质稳定。研究聚焦设备选型、工艺衔接、自动化控制及环保化运行，以提升制水效率、降低能耗，满足电厂安全经济运行需求。

关键词：电厂化学水处理；制水设备；应用要点

引言：随着电力行业向高效、清洁方向快速发展，电厂化学水处理制水设备作为保障机组安全稳定运行的核心系统，其技术水平直接关乎发电效率与设备寿命。面对日益严格的环保要求及水资源循环利用需求，传统水处理工艺已难以满足现代电厂对水质纯度、能耗控制及智能化管理的多重挑战。本文围绕制水设备的工艺优化、技术创新与运行管理要点展开研究，旨在为提升电厂水处理系统效能提供理论支撑与实践参考。

1 电厂化学水处理制水设备的技术基础

1.1 设备分类与功能

1.1.1 预处理设备

预处理设备是电厂化学水处理的首要环节，主要包含化粪池、调节池和预曝气池三类核心设施。其中，化粪池通过物理沉淀作用，有效截留水中的大颗粒悬浮物、泥沙及部分有机物，避免后续设备堵塞；调节池可均衡进水的水质与水量，缓解水质波动对后续处理工艺的冲击，保障系统稳定运行；预曝气池则通过通入空气，增加水中溶解氧含量，氧化部分还原性物质，同时起到搅拌作用，提升后续处理效率，三类设备协同作用，为后续深度处理奠定基础。

1.1.2 核心处理设备

(1) 膜分离设备：作为深度处理的关键，涵盖反渗透(RO)、电去离子(EDI)和超滤(UF)设备。反渗透利用半透膜的选择透过性，实现深度脱盐，去除水中99%以上的离子；电去离子通过电场作用，无需化学再生即可持续去除离子，产出高纯度水；超滤则依靠膜的筛分作用，有效去除水中有机物、微生物及胶体颗粒。

(2) 离子交换设备：主要包括混床和填充床电渗析器(CDI)，用于进一步纯化水质。混床将阳离子交换树脂和阴离子交换树脂混合装填，可深度去除水中残留离子，产出高纯度除盐水；填充床电渗析器结合离子交换

树脂与电渗析技术，提升离子去除效率，适用于低含盐量水质的深度处理。(3) 辅助设备：是保障系统稳定运行的重要支撑，加药装置可精准投加pH调节剂、阻垢剂，维持水质稳定，防止设备结垢；杀菌设备(如紫外线杀菌器)可有效杀灭水中微生物，避免生物污染；监测仪表(如电导率、pH值在线监测仪)可实时监测水质指标，为系统运行调控提供数据支持^[1]。

1.2 技术发展趋势

(1) 集中化布置：采用立体化、多功能集成设计，将预处理、核心处理及辅助设备整合布局，大幅减少设备占地面积，同时简化管路连接，降低系统复杂度，提升设备管理与维护效率，适应电厂紧凑的场地布局需求。(2) 绿色环保技术：注重减少化学药剂使用，推广膜分离、树脂再生等低污染工艺，降低废水排放量与污染物浓度；开发新型环保树脂与膜材料，提升材料使用寿命与再生效率，减少固废产生，符合电厂绿色低碳发展方向。(3) 智能化控制：引入PLC控制系统、一键制水技术，实现设备运行的自动化调控，减少人工操作环节，降低人为干预风险；结合物联网技术，实现设备运行状态实时监测与故障预警，提升系统运行稳定性与可靠性，推动电厂水处理智能化升级。

2 电厂化学水处理制水设备的应用要点

2.1 锅炉补给水处理

2.1.1 传统工艺局限

在锅炉补给水处理领域，传统混凝过滤工艺存在明显短板。该工艺依赖粒状滤料(如石英砂、无烟煤)实现杂质截留，但粒状滤料的比表面积较小，截污能力有限，当原水悬浮物或胶体含量较高时，滤料易快速饱和，需频繁反洗，不仅增加操作成本，还难以彻底去除水中微小杂质。未被截留的污染物会进入后续处理环节，导致离子交换树脂污染加速、反渗透膜结垢风险上

升,大幅增加后续设备的运行负荷与维护压力,难以满足高参数机组对补给水水质的严格要求。

2.1.2 创新技术应用

(1) 纤维过滤材料:新一代纤维过滤设备(如纤维球过滤器、胶囊挤压式纤维过滤器)凭借独特优势实现高效过滤。纤维滤料的比表面积是传统粒状滤料的5-10倍,吸附能力更强,可有效截留微小悬浮物、胶体及部分有机物,过滤精度提升至 $5\mu\text{m}$ 以下;且纤维滤料具有良好的压缩性,反洗时通过挤压可彻底清除截留杂质,反洗水耗仅为传统工艺的1/3,显著降低运行成本,为后续深度处理提供优质进水。(2) 反渗透预脱盐:将反渗透技术引入补给水预处理环节,可实现高效预脱盐。该技术通过半透膜的选择透过性,去除原水中90%以上的离子(如钙、镁、钠等离子),大幅降低后续离子交换设备的处理负荷,减少酸碱药剂消耗量;同时,因离子去除率高,后续树脂再生频次减少,酸碱废液排放量降低50%以上,符合国家环保政策要求,兼顾水质提升与绿色生产^[2]。(3) 案例分析:厦门嵩屿电厂在锅炉补给水处理系统中,采用进口混床装置结合深度预处理工艺,实现长周期氨化运行。该混床装置选用高性能均粒树脂,搭配精准的再生控制系统,树脂交换容量充分发挥,周期制水量突破50万吨,较传统混床提升30%以上;且氨化运行模式下,出水pH值稳定在8.5-9.0,有效抑制管道腐蚀,系统连续运行周期延长至6个月,大幅减少设备停机维护时间,保障机组稳定供汽。

2.2 锅炉给水与炉内水处理

2.2.1 给水处理

(1) 氧化性运行方式:通过向给水系统投加适量氧气(或过氧化氢),在金属管道内壁形成致密的 Fe_3O_4 保护膜。该保护膜可隔绝水与金属的直接接触,显著抑制低温腐蚀(尤其是省煤器、给水管道的腐蚀),使管道腐蚀速率降低至 0.01mm/a 以下;同时,保护膜的稳定性强,可延长设备清洗周期,由传统的1-2年清洗一次延长至3-5年,减少清洗药剂消耗与设备损耗。(2) 平衡磷酸盐处理:针对高压及以上参数锅炉,采用平衡磷酸盐处理技术精准控制水质。通过自动加药系统将炉水磷酸盐浓度稳定在 $0.3\text{-}0.5\text{mg/L}$,同时调节pH值至9.0-9.6,使炉水中磷酸根离子与钙离子形成可溶性磷酸氢盐,避免生成难溶的磷酸钙水垢;且该pH范围可抑制炉水对金属的酸性腐蚀,防止锅炉水冷壁、汽包等部件出现腐蚀减薄,保障锅炉安全运行^[3]。

2.2.2 炉内水处理

(1) 低磷酸盐与平衡磷酸盐技术:随着机组参数向

超临界、超超临界升级,传统磷酸盐处理易出现磷酸盐“隐蔽”现象(磷酸盐沉积在金属表面,导致炉水磷酸盐浓度偏低,腐蚀风险上升)。低磷酸盐与平衡磷酸盐技术通过优化磷酸盐投加量,结合在线水质监测系统实时调整,使炉水磷酸盐浓度维持在更低且稳定的范围,彻底解决“隐蔽”问题;同时,该技术适应高参数机组的高温高压环境,可有效防止受热面结垢与腐蚀,满足机组安全高效运行需求。(2) 凝结水精处理:采用粉末树脂(POWDEX)系统对凝结水进行深度处理,实现过滤与除盐双重功能。该系统将粉末树脂(阳离子树脂、阴离子树脂按比例混合)填充于过滤器内,凝结水通过时,树脂可快速吸附水中的溶解盐(如氯离子、硫酸根离子)与悬浮杂质(如腐蚀产物铁氧化物),过滤精度达 $0.1\mu\text{m}$,除盐率超95%;且粉末树脂无需再生,失效后直接更换,操作简便,可保障凝结水水质满足锅炉给水要求,减少对锅炉内部构件的损害。

2.3 循环水与废水处理

2.3.1 循环水处理

(1) 浓缩倍率提升:通过优化水质稳定技术(如投加高效阻垢剂、分散剂),提升循环水浓缩倍率。传统循环水浓缩倍率通常控制在3-4倍,而采用新型阻垢剂后,可将浓缩倍率提升至5-6倍,循环水排放量减少40%以上,显著降低水资源消耗;同时,配套在线总溶解固体(TDS)监测仪,实时监控循环水水质,避免因浓缩倍率过高导致管道结垢或腐蚀,保障循环水系统稳定运行。(2) 两相流固液分离技术:引入一体化两相流固液分离设备,整合絮凝、沉淀、澄清功能于一体。该设备通过特殊的流道设计,使循环水与絮凝剂充分混合,形成的絮体在离心力与重力共同作用下快速分离,沉淀效率较传统澄清池提升2倍,出水悬浮物含量控制在 10mg/L 以下;且设备占地面积仅为传统工艺的1/2,可灵活布置于循环水系统中,有效去除循环水中的杂质,减少换热器堵塞风险^[4]。

2.3.2 废水处理

(1) 集中处理模式:采用“鼓风曝气氧化+pH调整+混凝澄清”的集中处理工艺,对电厂各类废水(如再生废水、冲洗废水)进行统一处理。鼓风曝气氧化可去除废水中的还原性物质(如亚硝酸盐),pH调整环节通过投加酸碱将废水pH值调节至7-8,为后续混凝反应创造条件;混凝澄清环节投加聚合氯化铝(PAC)与聚丙烯酰胺(PAM),形成大絮体沉淀,去除水中悬浮物与部分有机物,处理后废水回用率达80%以上,用于循环水补水、地面冲洗等,实现水资源循环利用。(2) 膜生物反应

器 (MBR)：针对高难度废水 (如含油废水、高有机物废水)，采用膜生物反应器 (MBR) 进行深度处理。该技术结合生物降解与膜分离功能，微生物菌群可降解废水中的有机物，膜组件则截留微生物与悬浮杂质，出水 COD (化学需氧量) 低于 50mg/L，浊度低于 1NTU，水质满足工业回用标准；且 MBR 系统占地面积小、剩余污泥量少，运行自动化程度高，为电厂处理高难度废水提供高效解决方案，助力实现“零废水排放”目标。

3 电厂化学水处理制水设备应用中的问题与优化策略

3.1 常见问题

(1) 设备选型不当：实际应用中，若未充分结合原水水质特性选择设备，易引发运行故障。例如反渗透膜元件选型与原水硬度、悬浮物含量不匹配时，膜表面易快速附着胶体、微生物及盐类物质，导致膜污染加速，不仅降低脱盐效率，还会缩短膜元件使用寿命，增加设备更换频率，影响整体水处理系统稳定性。(2) 自动化程度低：部分电厂水处理系统仍依赖人工操作，如人工调控加药剂量、手动监测水质指标等。人工操作不仅频繁占用人力成本，还易因操作误差引发问题，比如加药量超限会导致水质指标异常，加剧设备腐蚀；手动开关阀门时若速度过快，易产生管道冲击，损坏管路接口与设备部件，增加系统故障风险。(3) 维护成本高：核心设备的维护成本居高不下，一方面反渗透膜元件受污染影响，更换周期普遍较短，部分电厂膜元件使用 1-2 年即需更换，更换费用高昂；另一方面离子交换树脂再生过程中，需消耗大量酸碱药剂与热能，能耗成本高，同时再生废液处理也需额外投入，进一步推高维护成本。

3.2 优化策略

(1) 设备选型优化：需全面调研原水水质 (如硬度、含盐量、污染物类型) 与机组运行参数 (如压力、温度、出力需求)，选择适配设备。针对高污染原水，选用耐污染型反渗透膜，提升抗污染能力；对于悬浮物含量高的水质，搭配高效纤维过滤器，增强预处理效

果，从源头减少后续设备故障，保障系统稳定运行。

(2) 智能化改造：推广一键制水系统，整合 PLC 控制技术与在线监测数据，实现加药、过滤、脱盐等子系统独立控制，同时通过智能算法精准调节水平衡，避免各环节水量波动冲击设备。智能化改造可大幅减少人工干预，降低误操作概率，提升系统运行精度与效率^[5]。

(3) 绿色运维管理：运维过程中选用环保型药剂，如可生物降解的阻垢剂、杀菌剂，减少对环境的污染与设备的腐蚀；定期通过在线监测系统跟踪膜元件通量、压差等性能参数，及时开展化学清洗，延缓膜污染速度；优化树脂再生工艺，采用低能耗再生技术，降低再生能耗与药剂消耗，延长设备寿命，从而降低整体维护成本。

结束语

电厂化学水处理制水设备是保障机组安全经济运行的关键环节，其技术优化与智能化管理对提升发电效率、降低能耗及实现环保目标具有重要意义。本文通过分析工艺选型、自动化控制、节能降耗等核心要点，提出以高效脱盐技术、智能监控系统及循环利用模式为重点的改进方向。未来需进一步融合物联网与大数据技术，推动制水设备向精细化、绿色化方向发展，为电力行业可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]李瑞.电厂化学水处理制水设备的应用要点研究[J].造纸装备及材料,2023,52(06):185-187.
- [2]张龙娜.电厂化学水处理制水设备问题的分析与处置[J].化工管理,2023(05):41-43.
- [3]李传磊.化学水处理制水设备问题分析及处理[J].石河子科技,2022(01):50-51.
- [4]王锡斌.关于电厂化学制水处理的工艺与节能分析[J].当代化学研究,2022(18):148-149.
- [5]马小原.对电厂化学制水处理的工艺与节能分析[J].机电信息,2022(15):95-96.