

电厂化学水处理技术研究

刘 媛

国能博州新能源有限公司 新疆 博乐 833400

摘要：随着电力行业向高效、低碳方向发展，电厂对水质的要求日益严格，化学水处理技术的重要性愈发凸显。本文围绕电厂化学水处理技术展开研究，阐述其在设备保护、发电效率提升及水资源循环利用中的重要性，分析该技术设备集中化、控制集中化、环保节能导向等特点。探究了锅炉补给水、给水、炉水及凝结水处理四大关键技术的操作流程与参数控制，同时从材料革新、智能化升级、工艺整合、环保优化四维度，总结技术创新方向。研究表明，高效的化学水处理技术是保障电厂安全稳定运行、实现绿色发展的关键，可为电厂水处理系统优化提供参考。

关键词：电厂；化学水处理；关键技术

引言：当前部分电厂仍面临设备腐蚀结垢、水资源浪费及处理效率低等问题，制约了机组运行稳定性与经济效益。本文系统研究电厂化学水处理技术，先阐述其重要性及特点，再深入分析核心关键技术，最后总结创新方向，旨在为解决电厂水处理难题、推动技术升级提供理论与实践支撑。

1 电厂化学水处理技术的重要性

电厂化学水处理技术是保障电力系统稳定运行的核心环节，其重要性主要体现在以下三个方面：（1）有效预防电厂关键设备的腐蚀与结垢问题。电厂锅炉、凝汽器等设备长期接触水介质，若水中含有的钙、镁离子及溶解氧未被处理，会在设备内壁形成水垢或引发金属腐蚀，导致设备传热效率下降，严重时还会造成管道堵塞或破裂，增加设备维修成本与停机风险。（2）优质的化学水处理是提升发电效率的基础。水垢会使锅炉传热系数降低15%-20%，为维持额定发电功率，需消耗更多燃料；而经处理后的纯水能减少热损失，助力机组热效率提升3%-5%，按百万千瓦机组计算，每年可节约标准煤数万吨，显著降低发电成本。（3）实现水资源循环利用与达标排放。电厂用水量大，通过反渗透、离子交换等技术对废水进行深度处理，可使水资源重复利用率提升至85%以上，减少新鲜水取用；处理后的废水能满足国家排放标准，避免水体污染，契合当前“双碳”目标下绿色电厂的建设要求^[1]。

2 电厂化学水处理技术特点

电厂化学水处理技术呈现以下特点，适配现代电力生产需求。（1）设备趋向集中化布置，摒弃传统分散布局占地广、管理难的弊端，通过整合过滤、除盐等设备，节省30%以上场地空间，同时缩短管路连接，降低能耗与故障风险，方便运维人员统一巡检。（2）生产控制

实现集中化，取代传统模拟盘手动操作，依托PLC与上位机二级控制系统，实时采集水质、流量等数据，自动调节药剂投加量与设备运行参数，控制精度提升至 $\pm 0.1\%$ ，减少人为操作误差，保障水质稳定。（3）技术以环保节能为核心导向，围绕“少排放、零排放”目标，优化水处理工艺，如采用膜分离技术替代部分化学处理，减少药剂消耗与废水生成；同时提高水资源重复利用率，部分电厂水回用率达90%以上，降低新鲜水消耗。（4）工艺呈现多元化，突破传统混凝过滤、离子交换的局限，膜处理、新型树脂等技术广泛应用，针对不同水质场景灵活组合工艺，如高盐水源采用“反渗透+电渗析”组合工艺，提升处理效率。（5）检测方式更科学化，告别手工取样、事后分析的滞后性，在线监测设备实时检测水中痕量离子、溶解氧等指标，结合智能诊断系统提前预警水质异常，为设备安全运行提供保障^[2]。

3 电厂化学水处理的关键技术

3.1 锅炉补给水处理技术

锅炉补给水处理技术要通过预处理与深度除盐的协同操作，将原水净化至符合锅炉用水标准，整个过程要严格把控技术参数与操作流程，具体如下：（1）预处理阶段以混凝与过滤为核心操作。混凝环节需根据原水浊度、胶体含量及pH值，选择适配的混凝剂类型，常见的有聚合氯化铝、聚合硫酸铁等，投加量需通过烧杯实验确定，一般控制在5-30mg/L，投加后需保证充分混合，形成粒径均匀的絮体，混合搅拌速度初期控制在200-300r/min，后期降至50-100r/min，确保絮体稳定生长。过滤环节多采用多层滤料过滤或纤维过滤技术，滤料层需按粒径梯度铺设，上层为大粒径滤料，下层为小粒径滤料，滤速控制在8-12m/h，当滤后水浊度超过1NTU或过滤阻力达到设定值时，需启动反冲洗，反冲洗强度为12-

15L/(m²·s),反冲洗时间5-8分钟,同时辅以压缩空气擦洗,提升滤料清洁度。(2)深度除盐环节主要依赖反渗透与离子交换技术。反渗透系统运行前需进行预处理,确保进水SDI(污染指数)小于5、余氯含量低于0.1mg/L,防止膜元件污染与氧化损坏。运行时进水压力控制在1.2-1.8MPa,水温维持在20-25℃,水温每升高1℃,产水量约增加3%,但需避免水温过高导致膜寿命缩短;单级反渗透脱盐率需稳定在98%以上,若原水含盐量较高,需采用双级反渗透,二级反渗透进水需调节pH值至7.5-8.5,提升脱盐效果。离子交换系统多采用“阳床-阴床-混床”的串联工艺,阳床树脂选用强酸性苯乙烯系阳离子交换树脂,运行时控制进水硬度去除率达99%以上;阴床树脂选用强碱性苯乙烯系阴离子交换树脂,重点去除水中硅酸根,确保出水硅含量低于0.1mg/L;混床树脂按阳、阴树脂1:2的比例混合,运行时需控制流速在20-30m/h,出水电阻率需达到10MΩ·cm以上,满足锅炉补水要求。

3.2 锅炉给水处理技术

锅炉给水处理技术要通过精准调控水质,抑制锅炉系统腐蚀,主要采用以下挥发性处理与加氧处理两种技术。(1)挥发性处理以氨和联氨为核心药剂,精准控制药剂投加量与给水水质指标。氨的投加量需根据给水pH值动态调节,目标将给水pH值控制在8.5-9.5,通常投加量为0.5-2mg/L,投加方式采用连续定量投加,避免pH值波动过大;联氨作为除氧剂,投加量需根据给水溶解氧含量调整,确保给水溶解氧低于5μg/L,一般投加量为1-3mg/L,联氨需在除氧器出口处投加,利用管道混合提升反应效率,同时需控制联氨过剩量在0.05-0.1mg/L,防止过量联氨分解产生杂质。运行过程中需实时监测给水pH值、溶解氧及联氨含量,监测频率每小时不少于1次,若水质出现波动,需及时调整药剂投加量,确保指标稳定。(2)加氧处理技术适用于高参数机组,需满足严格的前置条件与运行控制要求。实施加氧处理前,需确保给水纯度达标,电导率低于0.1μS/cm、硅含量低于5μg/L,避免杂质离子与氧气共同引发局部腐蚀;氧气投加位置选择在给水泵入口或除氧器出口,投加量需精准控制在5-30μg/L,投加方式采用微量连续投加,利用在线溶解氧监测仪实时反馈调节;运行时需控制给水pH值在8.0-8.5,通过投加少量氨维持pH值稳定,同时需监测金属腐蚀速率,采用电化学腐蚀监测仪,确保腐蚀速率低于0.005mm/a。加氧处理过程中需避免机组启停或负荷大幅波动,若出现此类情况,需暂停加氧处理,切换为挥发性处理,防止水质恶化。

3.3 锅炉炉水处理技术

锅炉炉水处理技术要控制炉水含盐量与pH值,防止结垢与腐蚀,主要采用以下传统磷酸盐处理、低磷酸盐处理及平衡磷酸盐处理技术。(1)传统磷酸盐处理要严格控制磷酸盐投加量与炉水指标。磷酸盐药剂多选用磷酸三钠,投加方式采用连续投加,投加量根据炉水磷酸根浓度调整,目标将炉水磷酸根浓度控制在5-15mg/L;同时需控制炉水pH值在9-10,通过磷酸盐的缓冲作用维持pH稳定,若pH值偏低,可适量补加氢氧化钠调节。运行过程中需定期排污,控制炉水含盐量,排污率根据锅炉蒸发量确定,一般为0.5%-2%,同时需监测炉水氯离子、钠离子含量,防止含盐量过高影响蒸汽品质,监测频率每2小时1次,若发现磷酸盐隐藏现象,需降低磷酸盐投加量并加强排污,缓解沉积问题。(2)低磷酸盐处理要进一步严控炉水磷酸根浓度与相关指标。将炉水磷酸根浓度控制在0.5-3mg/L,投加量需精确计算,采用微量计量泵投加,避免浓度波动;同时需控制炉水pH值在9.0-9.5,通过投加氢氧化钠辅助调节,确保pH值稳定;钠离子浓度需与磷酸根浓度匹配,摩尔比控制在2.0-2.5,防止钠离子过高导致碱性腐蚀,需实时监测钠离子浓度,每小时1次,若比例失衡,及时调整氢氧化钠投加量。加强炉水取样分析,重点监测磷酸根浓度变化,避免因浓度过低导致结垢风险上升。(3)平衡磷酸盐处理要实现炉水指标的动态平衡,依赖高精度监测与调控。通过在线监测系统实时采集炉水磷酸根浓度、pH值、钠离子浓度数据,监测频率每10-15分钟1次,根据监测数据调节磷酸盐与氢氧化钠投加比例,目标使炉水无游离氢氧化钠,同时磷酸根浓度足以抑制结垢,一般磷酸根浓度控制在1-5mg/L,pH值维持在9.0-9.5。投加系统采用双计量泵分别投加磷酸盐与氢氧化钠,根据在线分析结果自动调节投加量,调节精度控制在±0.1mg/L;运行过程中需定期校验在线监测仪表,确保数据准确性,若出现仪表故障,需切换为手动控制,参照实验室分析数据调整,避免指标失控。

3.4 凝结水处理技术

凝结水处理技术要通过以下精处理与再生系统协同,实现凝结水净化与循环利用,技术操作需聚焦装置运行控制与再生工艺优化。(1)精处理装置以混床离子交换为核心,需严格控制运行参数与前置预处理。混床树脂选用高强度均粒树脂,阳、阴树脂按1:1.5-1:2比例填充,树脂层高度控制在1.2-1.5m,确保离子交换充分;运行流速控制在40-60m/h,流速过高易导致树脂乱层,过低则影响处理效率;出水电阻率需稳定在15MΩ·cm以

上,硅含量低于 $5\mu\text{g/L}$,溶解氧低于 $5\mu\text{g/L}$,需在线实时监测,若指标超标,需启动备用混床,失效混床切换至再生流程。前置过滤单元采用滤芯过滤或膜过滤,滤芯孔径选用 $5\text{-}10\mu\text{m}$,过滤精度确保凝结水浊度低于 0.1NTU ,当滤芯压差超过 0.1MPa 时,需及时更换滤芯,防止颗粒杂质进入混床污染树脂。(2)再生系统要保障树脂再生效果,主要采用高塔分离与锥底分离技术,配合氨化运行工艺。高塔分离装置运行时,树脂输送流速控制在 $10\text{-}15\text{m/h}$,避免树脂破碎;反冲洗水采用除盐水,流速控制在 $5\text{-}8\text{m/h}$,反冲洗时间 $8\text{-}10$ 分钟,确保阳、阴树脂分层清晰,分离效率达 99% 以上;再生时阳树脂采用 $4\%\text{-}5\%$ 盐酸溶液再生,再生液流速 $3\text{-}5\text{m/h}$,再生时间 $40\text{-}60$ 分钟,阴树脂采用 $4\%\text{-}5\%$ 氢氧化钠溶液再生,再生液流速 $3\text{-}5\text{m/h}$,再生时间 $60\text{-}90$ 分钟,再生后需用除盐水冲洗至出水 pH 值中性、电导率低于 $10\mu\text{S/cm}$ 。(3)锥底分离装置锥角控制在 $60^\circ\text{-}90^\circ$,树脂进入装置后,反冲洗水从底部均匀进水,流速控制在 $6\text{-}9\text{m/h}$,利用锥形结构引导树脂分层,阳树脂聚集于锥底,阴树脂上浮至上部,分离后分别导出;再生工艺与高塔分离一致,但需根据锥形结构特点调整再生液分布器,确保再生液均匀接触树脂。氨化运行时,再生剂采用 $2\%\text{-}4\%$ 氨溶液,阳树脂再生时氨溶液流速 $3\text{-}4\text{m/h}$,再生时间 $50\text{-}70$ 分钟,阴树脂再生时需调节氨溶液 pH 值至 $10\text{-}11$,流速 $3\text{-}4\text{m/h}$,再生时间 $70\text{-}90$ 分钟,再生后冲洗至出水氨含量低于 0.1mg/L ,避免残留氨影响凝结水水质^[3]。

4 电厂化学水处理技术的创新

电厂化学水处理技术围绕“高效、智能、环保”核心目标,在以下四大维度实现突破。(1)材料革新上,新型均粒强酸强碱树脂优化粒径分布,扩大比表面积、提

升离子交换容量、延长再生周期且抗污染性增强,能应对复杂水质;抗污染反渗透膜经表面改性,减少污染物吸附,减缓通量衰减,延长清洗间隔,降低运维成本。

(2)智能化升级方面,全流程在线监测系统布多参数传感器,实时采集传输关键指标;结合AI算法预判水质趋势,精准调整药剂与设备参数;数字孪生技术建虚拟模型,助力工艺优化并缩短故障定位时间。(3)工艺整合创新推出一体化设备,整合混凝、过滤等多环节,减少占地、提升效率,简化传统复杂流程,降低管理难度。(4)环保优化上,多效蒸发耦合热泵的蒸发结晶技术降低能耗,实现废水零排放;膜分离技术回收废水中药剂,提高利用率,减少新鲜药剂消耗,降低环境影响^[4]。

结束语:本文全面梳理了电厂化学水处理技术的重要性、特点、关键技术及创新成果。该技术不仅能预防设备故障、提升发电效率,还能助力环保目标实现,是电厂可持续发展的重要保障。随着新材料、人工智能等技术的不断融入,电厂化学水处理技术将向更高效、更智能、更环保的方向迈进。后续可进一步探索技术在新能源电厂中的适配性,持续优化工艺参数,推动该技术在电力行业的广泛应用与深度发展。

参考文献

- [1]贾兰,刘兴华,刘鹏,等.电厂化学水处理系统现状及技术创新应用研究[J].科技创新与应用,2025,15(14):48-53.
- [2]耿芳芳.电厂化学水处理中反渗透膜技术的应用研究[J].企业科技与发展,2022(9):103-105.
- [3]陈岩林.电厂化学水处理技术的特点和应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(5):188-190.
- [4]邸刚.电厂化学水处理系统现存问题及技术创新应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(5):194-196.