

# 火电厂化学水处理技术探析

陈文军

中煤鄂州能源开发有限公司 湖北 鄂州 436070

**摘要:** 火电厂化学水处理是保障机组安全经济运行的关键环节, 水处理效果直接影响热力设备结垢、腐蚀和积盐状况。本文系统阐述火电厂用水特点与水质要求, 分析化学水处理的基本原理, 深入探讨预处理、除盐、凝结水精处理、循环冷却水处理及废水处理与回用等关键技术。在此基础上, 从优化设计、运行管理、监测控制等方面提出系统改进措施, 展望化学水处理技术的未来发展趋势。因此, 完善的水处理系统对于保障机组安全、提高发电效率、实现节水减排具有重要意义。

**关键词:** 火电厂; 化学水处理; 技术探析; 水处理系统

引言: 火电厂热力系统中, 水作为工质和热载体, 其品质直接关系到机组安全经济运行。水质不良会导致热力设备结垢、腐蚀和积盐, 影响传热效率, 增加能耗, 严重时引发爆管等事故。随着火电机组参数不断提高, 对水质的要求也日益严格, 超超临界机组给水品质需达到微克每升级别。化学水处理系统承担着制备合格除盐水和保障汽水品质的任务, 是火电厂不可或缺的组成部分。

## 1 火电厂化学水处理技术基础

### 1.1 火电厂用水特点与水质要求

火电厂用水具有用量大、用途广、水质要求严格的特点, 主要包括锅炉补给水、循环冷却水、工业冷却水、生活消防水等, 其中锅炉补给水和凝结水的水质要求最为严苛。热力系统为封闭汽水循环, 水在锅炉中吸热成蒸汽, 推动汽轮机做功后凝结, 再返回锅炉循环, 此过程中水与金属接触并承受高温高压。水中杂质会形成水垢降低传热效率、引发金属腐蚀缩短设备寿命, 还会导致汽轮机叶片积盐影响出力。不同机组参数对应不同水质标准, 超临界机组给水、炉水、蒸汽、凝结水精处理出口及循环水, 均有明确的指标控制要求, 以此防范设备结垢、腐蚀和积盐问题<sup>[1]</sup>。

### 1.2 化学水处理的基本原理

化学水处理以物理化学原理为基础, 通过多种方法去除水中杂质以满足水质要求。混凝是利用混凝剂水解生成正电絮体, 通过电中和、吸附使胶体脱稳, 再经絮凝剂架桥形成大絮体沉降; 过滤是水通过滤料层截留悬浮物, 经反冲洗恢复过滤能力。膜分离借助选择性透过膜, 在压力或电场作用下实现水与杂质分离, 反渗透膜离子脱除率超95%, 超滤膜可去除悬浮物和胶体。离子交换通过树脂可交换离子与水中同性离子置换, 实现除盐; 电除盐在直流电场作用下, 让离子进入浓水室, 实现深

度脱盐。另外, 阻垢剂通过晶格畸变和分散防垢, 缓蚀剂通过形成保护膜抑腐蚀, 这些原理支撑着各类水处理工艺的设计与运行。

## 2 火电厂化学水处理关键技术

### 2.1 预处理技术

预处理是化学处理的第一道工序, 目的是去除水中的悬浮物、胶体和部分有机物, 为后续除盐创造条件。混凝澄清处理采用混凝剂和絮凝剂, 使水中悬浮物和胶体形成大颗粒絮体, 在澄清池中沉降分离。常用混凝剂有聚合氯化铝、硫酸铝等, 絮凝剂有聚丙烯酰胺等。澄清池类型包括机械搅拌澄清池、水力循环澄清池等, 运行中需控制混凝剂投加量、pH和水力条件。过滤技术进一步去除混凝澄清后水中残留的细小悬浮物, 采用压力式或重力式机械过滤器, 内装石英砂、无烟煤等滤料。双介质过滤器上层无烟煤下层石英砂, 截污能力优于单层滤料。活性炭过滤器利用吸附作用去除水中余氯和有机物, 保护后续反渗透膜。超滤技术是介于微滤和纳滤之间的膜分离技术, 膜孔径0.01至0.1微米, 可有效去除悬浮物、胶体、细菌和病毒。超滤作为反渗透前处理, 可显著降低污染指数, 延长反渗透膜清洗周期。超滤出水浊度小于0.1NTU, 污染指数小于2.5, 完全满足反渗透进水要求。预处理效果直接影响后续除盐系统运行, 处理不当会造成滤池堵塞或反渗透膜污染。

### 2.2 除盐技术

除盐技术去除水中溶解盐类, 制备高纯除盐水, 是火电厂化学处理的核心工艺。离子交换除盐是传统工艺, 利用阳离子交换树脂和阴离子交换树脂分别去除水中阳离子和阴离子。系统形式包括一级复床、二级复床和混床, 混床出水水质可达电导率小于0.2微西门子每厘米。离子交换技术成熟、出水水质高, 但需酸碱再生,

产生废酸废碱,运行成本较高。反渗透除盐利用半透膜在压力作用下使水分子透过而截留盐分,对一价离子脱除率可达95%至99%。反渗透系统由高压泵、膜组件和控制单元组成,通常采用多级多段布置提高回收率。反渗透除盐具有无相变、能耗低、连续运行、无需酸碱再生等优点,已成为火电厂除盐系统的主流工艺。但反渗透对二氧化硅和硼去除率有限,出水需进一步处理。电除盐技术将电渗析和离子交换有机结合,在直流电场作用下实现深度脱盐。电除盐系统由膜堆、电源和控制单元组成,可连续产水、无需酸碱再生,出水水质可达电导率小于0.1微西门子每厘米。不同除盐工艺各有优缺点,合理组合可发挥各自优势,反渗透加电除盐组合可彻底取消酸碱再生,实现绿色制水。

### 2.3 凝结水精处理技术

凝结水精处理是对汽轮机凝结水进行深度净化的工艺,对于超临界机组是必需配置。凝结水占锅炉给水的大部分,正常运行情况下品质较好,但凝汽器冷却水泄漏时,大量盐分和杂质会进入凝结水,造成给水水质急剧恶化。热力系统的腐蚀产物也会进入凝结水。精处理系统的作用是连续净化全部或部分凝结水,去除悬浮物、腐蚀产物和溶解盐类,保障给水品质<sup>[2]</sup>。系统主要由前置过滤器和混合离子交换器组成。前置过滤器去除凝结水中的悬浮物和腐蚀产物,保护后续离子交换树脂,形式包括管式过滤器、电磁过滤器、粉末树脂覆盖过滤器等。混合离子交换器采用阳阴树脂混合床,深度去除溶解盐类。高流速运行是精处理系统的特点,运行流速可达100至120米每小时,要求树脂机械强度高、耐磨损。系统还包括树脂捕捉器、再生单元和控制单元,再生单元用于失效树脂的分离和再生。运行控制主要包括运行流速控制、压差控制和出水水质监控,当压差过大或出水水质超标时自动切换备用设备。精处理系统还可在机组启动时快速净化凝结水,缩短启动时间。当凝汽器泄漏时,系统可去除泄漏带入的盐分,为机组抢修争取时间。

### 2.4 循环冷却水处理技术

循环冷却水系统承担凝汽器排热任务,通常采用循环浓缩运行方式以节约水资源。随着循环次数增加,水中盐类不断浓缩,导致结垢、腐蚀和微生物滋生等问题。结垢主要是碳酸钙沉淀,在凝汽器管壁形成硬垢,降低传热效率。腐蚀影响金属设备寿命,特别是铜管和不锈钢管。微生物滋生形成生物黏泥,堵塞管道并加速垢下腐蚀。循环水处理的目的就是在保证凝汽器高效换热的前提下,控制结垢、腐蚀和微生物繁殖。阻垢缓蚀是循环水处理的核心,阻垢剂通过晶格畸变和分散作用防止

垢晶生长,缓蚀剂在金属表面形成保护膜抑制电化学腐蚀。常用药剂有有机膦酸、聚羧酸共聚物、钼酸盐、锌盐等,复合配方兼顾双重效果。杀菌灭藻控制微生物生长,防止生物黏泥形成。氧化性杀菌剂如氯、次氯酸钠、二氧化氯通过氧化破坏细胞结构,非氧化性杀菌剂如季铵盐、异噻唑啉酮通过干扰代谢发挥作用。通常采用冲击式投加,定期交替使用不同类型杀菌剂。自动加药控制系统根据在线监测数据自动调节加药泵,保持药剂浓度稳定。旁流过滤可去除循环水中的悬浮物和部分微生物,减少黏泥沉积。胶球清洗装置定期清洗凝汽器管壁,保持换热面清洁。

### 2.5 废水处理与回用技术

火电厂各类生产废水包括预处理废水、除盐再生废水、循环水排污水、含油废水、脱硫废水等,水质复杂、污染物种类多。随着环保要求日益严格和节水需求增加,废水处理与回用成为火电厂化学水处理的重要组成部分。预处理废水和除盐再生废水主要含悬浮物和盐类,经中和、澄清后可回用于煤场喷洒或灰渣调湿。循环水排污水含盐量高,可采用反渗透浓缩后回用,浓水用于脱硫系统补水。含油废水经隔油、气浮、过滤处理后可达标排放或回用。脱硫废水是处理难度最大的废水,含高浓度悬浮物、盐类和重金属,需经中和、沉淀、絮凝、澄清等工艺处理,满足排放标准。废水零排放技术是发展方向,通过预处理、浓缩、蒸发结晶等工艺,将废水中的水资源回收利用,盐类资源化。膜法浓缩技术如反渗透、电渗析可大幅减少废水量,蒸发结晶技术将浓缩液转化为结晶盐。废水处理与回用不仅减少新鲜水取用量,还降低废水排放对环境的影响。系统设计需综合考虑各类废水水质、处理目标和回用途径,优化处理工艺组合,实现水资源梯级利用和循环利用。

## 3 火电厂化学水处理系统的优化与运行管理

### 3.1 化学水处理系统的优化设计

化学水处理系统的优化设计是保障电厂安全经济运行的基础。设计前需全面收集原水水质资料,分析其全年变化规律,掌握各项指标的高峰值与最低值,为工艺选择提供可靠依据。需结合机组参数和用水需求确定出水水质目标,不同参数机组的水质要求差异明显。工艺选择需综合考量原水水质、产水标准、投资成本及运行费用,实现预处理、除盐、精处理各单元的合理匹配。其中,反渗透加电除盐组合可彻底取消酸碱再生,实现绿色制水,适用于水质较好、环保要求高的电厂;传统离子交换工艺技术成熟,适用于水质较差或对投资敏感的场所。系统容量需兼顾机组启动用水高峰与日常补水

量,配置适当冗余保障供水可靠;设备选型优先节能高效产品,管道布置合理、阀门仪表便于维护,同时预留扩展空间,配套完善辅助系统,并配置在线监测与控制系统,为后续运行管理创造条件。

### 3.2 化学水处理系统的运行管理

科学的运行管理是确保水处理系统长期稳定运行的关键。需建立完善的运行规程和操作制度,明确各岗位职责与操作要求,运行人员经专业培训后,需熟练掌握系统原理、设备性能及操作技能,能妥善处理常见异常。日常运行中,严格执行巡回检查制度,按时记录设备运行参数和水质数据,发现异常及时处置。设备维护保养按计划开展,定期清洗过滤器、更换滤芯、校验仪表、补充树脂;反渗透膜需根据污染程度定期化学清洗,树脂需定期检查、处理污染,必要时更换。加药系统保证药剂质量与投加精准,定期标定加药泵、清理相关管路<sup>[3]</sup>。同时做好物资、安全管理,建立备品备件台账,规范危险化学品操作,注重运行经济性,优化再生周期、控制药剂消耗,定期开展运行分析,持续提升管理水平。

### 3.3 化学水处理系统的监测与控制

监测与控制是实现水处理系统精细化运行的重要手段。需完善在线监测仪表配置,对流量、压力、电导率、pH、浊度等关键参数实现连续监测,仪表选型注重可靠性与精度,定期维护校准以保证数据准确。建立数据采集与监视控制系统,实时显示工艺流程、设备状态及参数,超限时自动报警,同时存储历史数据便于追溯优化。系统具备设备启停、阀门切换、反洗、再生等自动控制功能,减少人工操作。根据进水参数自动调节混凝剂、阻垢剂等投加量,过滤器反洗、反渗透系统运行均实现自动控制,可采用模糊控制等先进算法优化参数。此外,需定期检查传感器、控制器等部件,保障监测控制系统可靠运行。

## 4 火电厂化学水处理技术的发展趋势

火电厂化学水处理技术正朝着高效化、绿色化、智能化方向快速发展。膜法水处理技术将更加成熟,反渗透膜性能不断提升,脱盐率更高、抗污染能力更强、使用寿命更长。电除盐技术逐步替代传统混床,实现无酸

碱制水,减少废水排放。陶瓷膜、石墨烯膜等新型膜材料研发应用,进一步提高过滤精度和通量。废水零排放技术成为趋势,高含盐废水深度处理和资源化利用技术不断突破,通过预处理、膜浓缩、蒸发结晶等工艺,将废水中的水资源回收利用,盐类转化为工业产品。循环水处理技术向高浓缩倍率方向发展,新型阻垢剂和缓蚀剂研发应用,提高药剂效率和环境相容性。杀菌技术向绿色环保方向发展,紫外线、臭氧等物理方法替代化学药剂,减少消毒副产物。智能化控制系统广泛应用,基于大数据和人工智能的水处理优化平台可实现设备预测性维护、工艺自适应控制和运行成本优化。数字孪生技术构建水处理系统虚拟模型,模拟工艺过程,诊断设备故障,指导维护计划<sup>[4]</sup>。水质在线监测技术不断进步,新型传感器可实时监测更多水质指标,为自动控制提供可靠数据。水处理与热力系统整体优化研究深入,建立全厂水平衡和化学平衡模型,实现水资源梯级利用和循环利用。这些技术进步将推动火电厂化学水处理向更高效、更环保、更智能的方向发展。

### 结束语

火电厂化学水处理技术是保障机组安全经济运行的重要支撑,涉及预处理、除盐、凝结水精处理、循环水处理、废水回用等多个领域。本文系统阐述了火电厂用水特点和水质要求,分析了化学水处理的基本原理,深入探讨了各项关键技术的原理和应用,从优化设计、运行管理、监测控制等方面提出了系统改进措施。随着技术进步和管理提升,火电厂化学水处理系统将更加高效可靠,为机组安全经济运行和节水减排目标提供有力保障。

### 参考文献

- [1]刘婧艳.火电厂化学水自动处理技术研究[J].今日自动化,2025(9):124-126.
- [2]刘继芹.火电厂化学水处理技术应用与进展[J].化工管理,2025(11):105-108.
- [3]张彩云.火电厂化学水处理设备腐蚀问题处理方法研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(4):97-99.
- [4]温昕彤.火电厂化学水处理系统节能降耗优化方法分析[J].价值工程,2025,44(36):56-59.