

电厂化学运行中水处理系统优化与节能策略

刘悦 詹昕潼

云南华电昆明发电有限公司 云南 昆明 650000

摘要：电厂化学水处理系统是机组安全稳定运行的核心配套设施，当前多数电厂水处理系统存在工艺老旧、设备能耗高、运维粗放、智能化水平不足等问题，造成电耗、药耗及水资源浪费严重。本文分析水处理系统运行能耗现状与核心问题，从工艺改造、设备运维、药剂水资源利用、智能管控四个维度制定优化节能策略，旨在提升系统运行效率，降低水处理综合能耗，助力电厂绿色低碳、经济化运行发展。

关键词：电厂化学运行；水处理系统；优化；节能策略

引言：在电力行业节能降耗、绿色转型的发展背景下，电厂化学水处理系统的高效、低耗运行对控制电厂生产成本、落实环保能耗标准至关重要。现阶段，传统水处理工艺与管控模式适配性不足，普遍存在能耗偏高、水质稳定性差、资源利用率低等弊端。为解决系统运行痛点，本文结合水处理系统结构与运行流程，剖析能耗影响因素与现存问题，针对性提出系统性优化与节能策略，为电厂水处理节能提质提供参考。

1 电厂化学水处理系统运行基础与能耗现状

1.1 电厂化学水处理系统核心构成

(1) 预处理系统：作为水处理第一道工序，主要包含混凝、沉淀、过滤三大单元。通过投加混凝剂凝聚原水中悬浮物与胶体杂质，经沉淀设备完成固液分离，再通过过滤装置截留残余细小杂质，初步净化原水水质，保障后续深度处理设备稳定运行。(2) 深度处理系统：是纯水制备的核心环节，涵盖反渗透、离子交换、EDI精制工艺。反渗透依托膜分离技术去除水中盐分、微生物等杂质，离子交换进一步置换残留离子，EDI实现连续深度脱盐，满足电厂锅炉、机组用水的高纯度标准。(3) 辅助系统：包含加药、再生、废水回收三大配套系统。加药系统为各处理单元精准投加药剂，再生系统负责离子交换树脂复苏再生，废水回收系统收集处理生产废水，实现水资源循环利用，保障整套系统连续运转。

1.2 水处理系统运行工作流程

(1) 原水取水与预处理净化流程：从水源取水后，原水输送至预处理单元，依次完成混凝、沉淀、过滤处理，去除水中大部分悬浮污染物，降低原水浊度，为深度处理工序提供合格进水。(2) 纯水制备与水质达标管控流程：预处理后的水体进入深度处理单元，通过反渗透、EDI等工艺逐级脱盐净化，全程实时监测水质指标，动态调整运行参数，确保出水水质符合电厂生产用水标

准。(3) 系统排污、废水回用与设备运维流程：系统运行中产生的浓水、清洗废水统一收集处理，达标后回用；同时定期开展设备巡检、滤芯更换、树脂再生等运维工作，及时排污除垢，维持系统高效运行^[1]。

1.3 水处理系统能耗构成分析

(1) 设备能耗：为核心能耗来源，水泵、风机持续运转消耗大量电能，反渗透膜、EDI组件工作过程中也存在稳定电力损耗，设备启停、负荷波动会进一步增加能耗。(2) 药剂能耗：水处理全过程需持续投加混凝剂、阻垢剂、再生药剂等耗材，药剂采购、储存及投加过程产生综合成本，过量加药会直接提升耗材能耗与运行成本。(3) 水资源能耗：系统制水过程存在纯水损耗，传统工艺浓水直排现象普遍，水资源回收率偏低，造成大量优质水资源浪费，间接提升水处理综合能耗。

1.4 水处理系统节能优化必要性

(1) 部分电厂水处理设备服役年限久、工艺老旧，设备运行效率低下，能耗损耗远超新型设备，高能耗、高损耗问题长期存在，运行经济性较差。(2) 传统人工操控运行模式自动化水平低，参数调节精准度不足，易出现药剂浪费、设备超负荷运行、水资源利用率不足等问题，资源能耗管控精度偏低。(3) 当前电力行业能耗管控标准持续升级，节能降耗考核愈发严格，传统高能耗水处理系统已不符合行业合规要求，倒逼系统开展工艺与设备优化升级。

2 电厂化学水处理系统运行现存问题及能耗影响因素

2.1 水处理工艺系统存在的核心问题

(1) 预处理工艺去除效率偏低，现有混凝、过滤工艺对原水中胶体、细小悬浮物及有机污染物去除不彻底，出水水质稳定性较差，残留杂质会持续附着在后续反渗透膜、EDI膜组件表面，造成膜面污染、微孔堵塞，大幅缩短膜元件使用寿命，增加系统清洗频次与运行能

耗。(2)反渗透系统运行参数固化,多数电厂采用固定化运行模式,未根据水质负荷动态调整压力、流量等核心参数,工况适配性较差。长期恒定负荷运行不仅无法发挥系统最优处理效能,还会造成高压泵无效做功,使得系统电耗长期处于较高水平,节能空间较大。(3)离子交换再生工艺流程繁琐,传统酸碱再生工艺操作步骤复杂,再生过程药剂投加量大、反应利用率低。同时,再生阶段会产生大量高盐废水,药剂消耗成本与废水处理成本双重增加,既造成物料浪费,也提升了整体水处理能耗^[2]。

2.2 设备运行与运维管理问题

(1)水泵、高压设备长期满负荷常态化运行,未根据实际制水需求进行负荷调节,低负荷时段设备仍全速运转,存在严重的冗余能耗,无效电能损耗量大,设备运行经济性大幅降低。(2)设备常态化运维落实到位,日常巡检、除垢、防腐养护工作流于形式。长期运行下管道、设备内部易滋生结垢、腐蚀、菌藻滋生问题,增大水流阻力与设备运行负荷,进一步加剧能耗损耗,形成恶性循环。(3)部分机组水处理设备服役时间较长,设备核心能效持续衰减,运行效率逐年下降。且企业缺乏常态化设备更新与工艺改造机制,老旧高耗能设备长期服役,无法适配节能运行要求,系统整体能耗居高不下。

2.3 运行管控与智能化水平问题

(1)系统运行对人工操作依赖性较强,整体自动化程度不足,多依靠操作人员经验调节运行参数,调节精准度、统一性较差,极易出现参数偏离最优工况的情况,造成能源与药剂浪费。(2)水质、能耗数据监测体系不完善,仅对关键出水指标进行简单监测,缺乏全流程数据采集分析手段,无法精准捕捉能耗异常节点,无针对性动态调控机制,难以实现精细化节能管控。(3)无智能化故障预警系统,设备结垢、膜污染、负荷异常等问题无法提前预判,多数故障出现后才被动处理,不仅影响水质稳定性,还会大幅增加设备维修成本与额外能耗损耗。

2.4 能耗关键影响因素分析

(1)客观因素:原水水质波动、环境温度工况变化。自然水源水质随季节、气候大幅波动,汛期悬浮物、杂质含量激增,冬季低温会降低水处理反应效率与膜组件运行性能,迫使系统提升运行负荷,间接增加能耗损耗。(2)主观因素:运行参数、药剂投加量、运维管理水平。人工调控的参数合理性、药剂投加精准度、日常运维规范度,直接决定系统运行能耗。不规范的操作

与粗放的管理模式,是造成系统冗余能耗的主要人为因素。(3)设备因素:设备能效等级、系统工艺匹配度。设备本身能效高低、新旧程度,以及各工艺单元的衔接匹配性,直接影响整体运行效率。老旧低效设备、工艺衔接不合理,会导致系统运行阻力大、能量利用率低,能耗水平居高不下。

3 电厂化学运行中水处理系统优化方案与节能策略

3.1 水处理核心工艺优化改造

(1)预处理工艺优化:针对传统预处理杂质去除率低、易污染后端膜组件的问题,对原有混凝、沉淀、过滤工艺进行升级改造。替换传统低效混凝设备,采用高效絮凝混凝技术,搭配自适应搅拌装置,提升胶体、悬浮物及有机污染物的凝聚去除效果。同时升级精密过滤设备,增设多级过滤层级,细化过滤精度,有效降低进水浊度与污染物含量,从源头减少膜组件污染堵塞问题,降低后续系统清洗频次与运行能耗,保障深度处理系统长期稳定高效运行。(2)反渗透系统优化:摒弃传统固定参数运行模式,结合原水水质季节性波动、机组用水负荷变化,对反渗透系统运行压力、水回收率、浓水排放量等核心参数进行精细化优化。通过测算不同工况下的最优运行区间,调整高压泵运行压力,在保证出水水质达标的前提下,避免高压过载运行造成的电能浪费。合理提升系统水回收率,减少浓水直排损耗,平衡处理效能与能耗消耗,解决系统适配性差、能耗居高不下的痛点^[3]。(3)精制处理工艺优化:优化EDI与离子交换耦合运行模式,打破传统单一工艺运行的局限性。在水质负荷较低时,以EDI深度脱盐为核心,减少离子交换设备投运时长;在原水含盐量偏高、处理负荷大时,联动离子交换设备进行预处理脱盐,降低EDI系统运行负荷。通过两种工艺的智能联动、互补运行,规避单一工艺运行能耗高、设备损耗快的问题,提升精制处理阶段的水质稳定性与运行经济性。

3.2 设备节能改造与运维优化策略

(1)高能耗设备替换:针对系统内老旧水泵、高压设备能耗高、效率低的问题,开展高耗能设备专项替换改造。将传统定频水泵、高压输送设备更换为高效节能水泵与变频调控设备,依托变频技术根据实时制水负荷、水压需求动态调节设备转速,避免设备长期满负荷空载运行,大幅削减无效冗余能耗,提升设备运行能效,从硬件层面降低系统基础电耗。(2)设备运维优化:建立精细化、标准化的设备定期运维机制,制定专属清洗、防腐、检修台账。定期对管道、膜组件、换热设备进行除垢清洗,及时清除内壁结垢、菌藻与腐蚀杂

质,降低水流阻力与设备运行负荷;常态化开展设备防腐养护、零部件检测检修工作,提前排查设备老化、能效衰减隐患,减少设备故障损耗,延缓设备能效衰减速度,以精细化运维降低能耗损耗。(3)冗余设备优化:全面梳理水处理系统冗余工艺与闲置设备,精简重复、低效的工艺单元,优化设备启停与联动运行逻辑。摒弃传统多设备全天候投运的模式,根据制水负荷、水质工况,合理规划设备投运数量与启停时序,避免冗余设备空载、低负荷运行造成的能源浪费,优化系统整体设备匹配度,提升整套设备的运行协同性与利用效率^[4]。

3.3 药剂与水资源高效利用节能策略

(1)精准加药优化:改变传统经验式过量加药模式,依托实时水质监测数据,搭建动态精准加药调控体系。根据原水浊度、有机物含量、含盐量等指标变化,自动调节混凝剂、阻垢剂、杀菌剂等药剂的投加量,实现按需加药、精准投加,有效解决药剂过量投加造成的物料浪费、水体二次污染问题,降低药剂耗材成本与后续水处理能耗。(2)再生工艺优化:针对离子交换传统再生流程繁琐、药剂损耗大、废水产量高的问题,优化再生工艺流程。调整酸碱再生剂浓度、再生时间与冲洗流量,采用分段再生、精准冲洗的模式,提升再生药剂利用率,减少药剂残留与无效消耗。同时简化冗余再生工序,缩短再生作业时长,降低再生过程中的电能、药剂与水资源损耗,减少高盐废水排放量^[5]。(3)废水回用优化:构建分级回收、梯次利用的废水循环体系,对系统产生的预处理废水、反渗透浓水、设备清洗废水进行分类收集、分级处理。低污染废水简单处理后直接回用于预处理工序,高盐废水经深度处理后用于设备冲洗、厂区绿化等场景,最大限度提升水资源重复利用率,减少废水直排造成的水资源浪费,降低原水取水与水处理综合能耗。

3.4 智能化运行管控节能优化

(1)搭建水处理系统实时监测平台,覆盖原水取水、预处理、深度处理、废水回用全流程,布设水质、

流量、压力、能耗监测传感器,实现各项运行数据实时采集、可视化展示。解决传统监测不全面、数据滞后的问题,便于工作人员实时掌握系统运行状态,快速定位能耗异常点位,为节能调控提供数据支撑。(2)引入智能自动调控系统,依托监测数据建立智能调控模型,根据原水水质波动、机组用水需求、环境工况变化,动态自动调节设备运行参数、药剂投加量与设备投运组合。替代传统人工经验调控模式,提升参数调节精准度,让系统始终处于最优节能运行工况,大幅降低人工操作误差带来的能耗浪费。(3)建立常态化能耗数据分析体系,对系统电耗、药耗、水耗数据进行汇总、统计与深度分析,挖掘能耗损耗规律与节能潜力。通过数据复盘优化运行策略,完善节能管控标准,建立故障预警与能耗异常溯源机制,实现水处理系统节能运行的标准化、常态化、长效化管控。

结束语

本文结合电厂化学水处理系统运行实际,梳理了工艺、设备、运维及智能管控层面的各类问题,明确了能耗核心影响因素,制定了全方位的节能优化方案。通过工艺升级、设备改造、精准化管控与智能化赋能,可有效降低系统水耗、电耗与药耗,提升水资源利用率与系统运行稳定性,切实实现水处理系统降本增效,为电厂节能降耗、提质增效提供切实可行的技术与管理支撑。

参考文献

- [1]黄登盛.火电厂化学水处理系统节能优化技术研究[J].新时代论坛,2025,2(14):45-48.
- [2]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.
- [3]吴序芳,严建成,陈晨,等.火电厂化学系统运行优化节能措施分析及应用[J].上海节能,2024,24(7):117-121.
- [4]王意恒.电厂化学水处理设备设施腐蚀问题及节能优化对策[J].中关村,2024,13(3):110-115.
- [5]方颖斐.电厂化学水处理设备运行问题及优化改造措施[J].山西化工,2023,43(7):69-71.