

# 火电厂化学水处理系统能效评估与节能改造策略

周 峰

黄陵矿业煤矸石发电有限公司 陕西 延安 727306

**摘 要：**火电厂化学水处理系统对保障机组稳定运行意义重大。本文先概述系统组成、功能与工艺流程，构建包含能源消耗、水资源利用等多维度的能效评估指标体系，采用组合赋权法确定指标权重，并介绍数据收集、单项与综合能效评估方法。针对预处理、除盐等关键系统提出节能改造策略，还强调系统整体优化与节能管理，为火电厂化学水处理系统能效提升与节能改造提供全面参考。

**关键词：**火电厂；化学水处理系统；能效评估；节能改造

引言：在能源需求持续增长与环保要求日益严格的背景下，火电厂作为重要能源供应主体，其节能减排任务艰巨。化学水处理系统是火电厂关键组成部分，其运行能效直接影响机组整体能耗与水资源利用效率。然而，当前部分火电厂化学水处理系统存在能耗高、资源利用率低等问题。因此，开展能效评估与节能改造策略研究，对提高火电厂能源利用效率、降低运行成本、实现可持续发展具有重要现实意义。

## 1 火电厂化学水处理系统概述

### 1.1 系统组成与功能

火电厂化学水处理系统由预处理系统、除盐系统、加药系统、循环水处理系统、凝结水精处理系统及废水处理回收系统等核心单元组成。预处理系统主要通过混凝、澄清、过滤等工艺，去除原水中的悬浮物、胶体颗粒与部分有机物，降低后续处理负荷；除盐系统采用离子交换、反渗透等技术，深度去除水中溶解盐类，保障补给水水质；加药系统通过精准投加缓蚀剂、阻垢剂、杀菌剂等化学药剂，抑制循环水系统的腐蚀、结垢与微生物滋生；凝结水精处理系统用于净化机组凝结水，去除运行过程中产生的微量杂质；废水处理回收系统则对各环节产生的废水进行处理，实现水资源循环利用，降低排污量<sup>[1]</sup>。

### 1.2 系统工艺流程

火电厂化学水处理系统工艺流程遵循“原水预处理→深度除盐→水质稳定→废水回收”的核心逻辑。原水首先进入预处理阶段，经取水泵提升后，依次通过格栅去除大颗粒杂物，进入混凝澄清池，投加混凝剂与助凝剂形成絮体，沉淀分离后进入过滤池（或过滤器），进一步去除剩余悬浮物与胶体，获得澄清水；澄清水进入除盐系统，采用“反渗透+离子交换”或全膜法处理工艺，去除水中的阳离子、阴离子与微量有机物，产出

高纯度除盐水，输送至锅炉补给水系统；同时，循环水系统通过冷却塔实现降温，加药系统根据水质监测数据精准投加药剂，维持循环水水质稳定；机组凝结水经凝结水精处理系统过滤与除盐后，返回锅炉重新利用；各工艺环节产生的废水汇集至废水处理系统，经中和、沉淀、过滤、消毒等处理后，部分回收作为循环水补充水，达标废水则按环保要求排放。

## 2 火电厂化学水处理系统能效评估指标体系构建

火电厂化学水处理系统能效评估指标体系构建是科学衡量系统运行效率、识别节能潜力的基础，需结合系统工艺特点、运行要求与节能目标，建立全面、系统、可操作的指标框架。

### 2.1 能效评估指标选取原则

能效评估指标选取遵循科学性、系统性、实用性、可量化与动态性五大原则。科学性原则要求指标能够客观反映系统能效的核心影响因素，基于化学水处理工艺原理与能效评价理论，避免主观臆断；系统性原则强调指标覆盖系统能耗构成、处理效果、资源利用、运行稳定性等各关键环节，形成完整的评价体系，不遗漏重要影响因素；实用性原则要求指标含义明确、数据易于收集与计算，依托火电厂现有监测系统与统计数据，无需额外增加过多监测成本；可量化原则规定指标需采用定量描述方式，通过具体数据反映能效水平，确保评估结果具有可比性与说服力；动态性原则指指标体系需根据火电厂机组负荷变化、工艺技术升级、环保政策调整等情况，适时优化调整指标内容与权重，保证评估的时效性与适应性。

### 2.2 能效评估指标体系框架

能效评估指标体系框架分为目标层、准则层与指标层三个层级。目标层为“化学水处理系统综合能效”，是评估的核心目标；准则层包括能源消耗能效、水资源

利用能效、处理效果能效、运行成本能效与设备运行能效五个维度, 涵盖系统运行的核心评价方面; 指标层为具体量化指标, 其中能源消耗能效指标包括单位除盐水电耗、单位循环水运行电耗、药剂单耗等; 水资源利用能效指标包括原水利用率、废水回收利用率、反洗水回收率等<sup>[2]</sup>。处理效果能效指标包括除盐水电质达标率、循环水腐蚀速率、凝结水水质合格率等; 运行成本能效指标包括单位水处理成本、树脂再生周期、药剂有效利用率等; 设备运行能效指标包括水泵运行效率、过滤器反洗周期、膜元件使用寿命等。各层级指标相互关联、层层递进, 全面反映系统能效水平。

### 2.3 指标权重确定方法

指标权重确定采用层次分析法与熵权法相结合的组合赋权法, 兼顾主观经验与客观数据的影响。首先, 运用层次分析法, 邀请火电厂化学水处理领域的技术专家、管理人员, 根据各指标对综合能效的重要程度, 构建判断矩阵, 通过一致性检验后, 计算得出各指标的主观权重, 充分体现专家经验对评估的指导作用; 其次, 采用熵权法, 基于火电厂历史运行数据, 通过计算各指标的信息熵值, 确定指标的客观权重, 熵值越小表明指标数据差异越大, 对评估结果的影响越显著, 客观权重能够反映数据本身的信息价值; 最后, 将主观权重与客观权重按一定比例组合, 得到各指标的综合权重, 既避免了单一主观赋权的主观性偏差, 又克服了单一客观赋权忽略实际重要性的不足, 使权重分配更加科学合理, 为综合能效评估提供可靠基础。

## 3 火电厂化学水处理系统能效评估方法

### 3.1 数据收集与整理

数据收集与整理以火电厂现有监测系统、运行记录与统计报表为核心, 确保数据的全面性、准确性与连续性。收集的数据源包括: 能源消耗数据(各设备运行电量、药剂采购与使用量、原水取用量、反洗用水量等)、处理效果数据(除盐水电导率、pH值、硬度、循环水腐蚀速率、结垢速率, 凝结水水质检测结果等)、设备运行数据(水泵运行参数、过滤器反洗周期、膜元件运行压力、树脂再生次数等)、成本数据(药剂采购成本、电费支出、设备维护费用等)。数据收集后, 需进行预处理, 包括剔除异常数据、补充缺失数据、统一数据单位与统计口径, 确保数据的一致性; 同时, 对数据进行标准化处理, 将不同量纲、不同数量级的指标数据转换为统一区间的标准化值, 为后续单项指标评估与综合能效计算奠定基础。

### 3.2 单项指标评估方法

单项指标评估采用标准化评分法与阈值对比法相结合的方式。对于定量指标, 根据火电厂行业标准、设计规范及先进机组运行水平, 确定各指标的最优值、合格值与不合格值, 建立指标评分标准; 通过将标准化后的指标数据与评分标准对比, 计算得出各单项指标的得分, 得分越高表明该指标对应的能效水平越好。例如, 单位除盐水电耗指标, 根据行业先进水平设定最优值为3kWh/t, 合格值为5kWh/t, 不合格值为8kWh/t, 通过线性插值法计算实际数据对应的得分; 对于定性指标(如设备运行稳定性), 采用等级评分法, 将指标表现划分为优秀、良好、合格、不合格四个等级, 分别赋予对应分值。单项指标评估完成后, 形成各指标的能效评分结果, 明确各环节的能效优势与短板。

### 3.3 综合能效评估方法

综合能效评估采用加权求和法, 基于各指标的综合权重与单项指标得分来计算系统综合能效评分。具体做法是, 将每一项单项指标得分和其对应的指标综合权重相乘后进行求和, 从而得出综合能效得分。根据综合能效得分, 将系统能效水平划分为四个等级, 分别是优秀(得分 $\geq 85$ 分)、良好(70分 $\leq$ 得分 $< 85$ 分)、合格(60分 $\leq$ 得分 $< 70$ 分)、不合格(得分 $< 60$ 分)。结合单项指标评分结果, 采用雷达图分析法, 能够直观展示各准则层及指标层的能效表现, 进而识别影响综合能效的关键因素<sup>[3]</sup>。另外, 通过与同类型火电厂先进机组的能效指标对比, 分析本系统的能效差距, 明确节能优化的重点方向, 为后续节能改造提供针对性依据。

## 4 火电厂化学水处理系统节能改造策略

火电厂化学水处理系统节能改造策略围绕降低能耗、提高资源利用率、优化运行管理为核心, 针对预处理系统、除盐系统、加药系统、循环水处理系统及整体运行管理等关键环节, 制定针对性的改造方案与优化措施。

### 4.1 预处理系统节能改造

预处理系统节能改造重点从工艺优化、设备升级与运行调整三方面入手。工艺优化方面, 将传统混凝澄清工艺改造为高效澄清池工艺, 采用斜管沉淀池或高密度沉淀池, 提高沉淀效率, 减少药剂投加量与占地面积; 将石英砂过滤器升级为纤维球过滤器或高效纤维过滤器, 增强过滤效果, 延长过滤周期, 降低反洗频率与反洗用水量。设备升级方面, 更换低效老旧水泵为高效节能水泵, 配套变频调速装置, 根据原水流量与水位变化自动调节运行频率, 降低电能消耗; 采用节能型曝气设备, 优化曝气方式, 减少曝气能耗。运行调整方面, 通过在线监测原水水质变化, 动态调整混凝剂与助凝剂投

加量，避免药剂浪费；优化反洗流程，采用气水联合反洗方式，缩短反洗时间，提高反洗水回收率，降低水资源消耗。

#### 4.2 除盐系统节能改造

除盐系统节能改造以膜处理技术升级与离子交换系统优化为核心。膜处理系统方面，将传统反渗透膜更换为低压或超低压反渗透膜，降低膜运行压力，减少增压泵能耗；采用膜元件错流排列方式，提高膜通量与回收率，降低浓水排放量；增设膜污染在线监测装置，及时预警膜污染情况，优化清洗周期与清洗方案，延长膜元件使用寿命。离子交换系统方面，将固定床离子交换器改造为浮动床或混合床离子交换器，提高离子交换效率，延长树脂再生周期；采用高效再生工艺，优化再生剂浓度与用量，提高再生剂利用率，减少再生废水排放量；引入树脂捕捉器，防止树脂流失，降低树脂补充成本。推广全膜法除盐工艺，替代传统“反渗透+离子交换”工艺，进一步降低能耗与药剂消耗。

#### 4.3 加药系统节能改造

加药系统节能改造聚焦精准投加与药剂优化，实现药剂消耗最小化与处理效果最优化。首先，升级加药控制系统，采用自动加药装置与在线水质监测仪表联动，实时监测水中浊度、硬度、腐蚀速率等指标，通过PLC控制系统精准调节药剂投加量，避免人工投加导致的药剂过量或不足问题；其次，优化药剂选型，选用高效、环保、低耗的新型药剂，如复合缓蚀阻垢剂、非氧化型杀菌剂等，替代传统高耗、高污染药剂，在保证处理效果的同时，降低药剂投加量与处理成本；最后，改进加药方式，采用多点投加、分段投加等方式，提高药剂与水体的混合均匀度，增强药剂作用效果，减少药剂浪费。加强药剂储存与输送管理，防止药剂泄漏与变质，提高药剂利用率。

#### 4.4 循环水处理系统节能改造

循环水处理系统节能改造围绕降低循环水泵能耗、提高冷却塔效率与优化水质稳定展开。水泵节能方面，将传统循环水泵更换为高效节能水泵，配套变频调速系统，根据循环水温度与机组负荷变化，自动调节水泵运行频率，降低电能消耗；优化水泵管路设计，减少管路阻力损失，提高水泵运行效率。冷却塔优化方面，对冷却塔填料进行更换，采用高效散热填料，提高散热效率；升级冷却塔风机为节能型风机，配套变频控制装

置，根据循环水出口温度自动调节风机转速；定期清理冷却塔喷嘴与填料，防止堵塞，保证冷却效果。水质稳定方面，采用精准加药与旁流过滤相结合的方式，控制循环水浓缩倍率，提高水资源利用率；引入微生物在线监测系统，优化杀菌剂投加方案，减少杀菌剂消耗，降低对环境的影响。

#### 4.5 系统整体优化与节能管理

系统整体优化与节能管理注重技术改造与管理提升相结合，实现系统能效持续优化。技术优化方面，构建化学水处理系统智能化管控平台，整合各环节监测数据，实现工艺参数自动调节、设备故障预警、能效实时评估，提高系统运行自动化与智能化水平；优化系统工艺流程，减少不必要的工艺环节与设备冗余，降低系统运行阻力与能耗；推广水资源梯级利用与废水深度处理回收技术，提高水资源循环利用率，减少新鲜水取用量<sup>[4]</sup>。管理提升方面，建立健全能效管理制度与考核机制，将能效指标纳入员工绩效考核，激发员工节能积极性；加强操作人员技能培训，提高员工对节能技术与设备的操作水平，确保节能措施有效落实；定期开展系统能效评估，跟踪改造效果，根据评估结果持续优化节能方案，实现系统能效螺旋式上升。

#### 结束语

火电厂化学水处理系统的能效评估与节能改造是一项系统且长期的工作。通过构建科学的能效评估指标体系与评估方法，可精准识别系统能效短板与节能潜力。依据评估结果，从预处理、除盐等关键系统入手实施针对性节能改造策略，并结合系统整体优化与节能管理，能够有效降低系统能耗、提高资源利用率。未来，随着技术不断进步，需持续探索创新，推动火电厂化学水处理系统能效迈向更高水平。

#### 参考文献

- [1]郭铭.火电厂化学水处理系统的节能降耗优化措施探讨[J].价值工程, 2020, 39(29):181-182.
- [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]刘婧艳.火电厂化学水处理技术的进展与应用分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(10):19-21.