

大型化工化学水处理设备节能降耗改造技术研究

张 辉

国能榆林化工有限公司 陕西 榆林 719000

摘要: 化工化学水处理设备能耗涉及多环节, 本文深入剖析水质预处理、深度处理、水回用及辅助系统能耗特征, 揭示各环节能耗形成机理与关键影响因素。提出涵盖预处理、深度处理、水回用及辅助系统的节能降耗改造技术路径, 分析不同水质条件与规模化工装置下改造技术的适配要点。详细阐述改造技术实施流程, 包括设备能耗排查定位、技术选型、施工关键流程及改造后设备调试。为化工企业水处理设备节能降耗提供全面技术指导, 推动行业绿色可持续发展。

关键词: 化工化学水处理设备; 节能降耗; 改造技术路径; 适配性分析; 实施流程

引言: 在化工行业生产运营中, 化学水处理是保障生产稳定与产品质量的关键环节。然而, 水处理设备能耗问题突出, 不仅增加企业生产成本, 还对能源供应与环境造成压力。当前, 化工企业面临能源成本上升与环保要求趋严的双重挑战, 降低水处理设备能耗成为迫切需求。现有研究多聚焦单一设备或局部环节, 缺乏系统性解决方案。因此, 深入探究水处理设备各环节能耗特征, 提出全面且适配性强的节能降耗改造技术路径, 对化工行业实现节能减排与可持续发展具有重要意义。

1 化工化学水处理设备能耗核心环节分析

1.1 水质预处理环节能耗特征解析

水质预处理作为水处理流程的初始阶段, 其能耗构成具有显著特征, 对整个水处理系统的能耗有着基础性影响。混凝沉淀单元的能耗主要源于机械搅拌设备的持续运转, 搅拌桨叶的线速度与转速直接影响絮体形成效率, 进而决定能耗水平。当水流剪切力与絮体成长速率达到动态平衡时, 单位产水的电能消耗呈现非线性变化规律^[1]。多介质过滤单元的能耗集中体现在反冲洗阶段, 滤料层膨胀率与冲洗强度存在强相关性, 过高的冲洗强度虽能提升再生效果, 但会导致水耗与电耗同步攀升, 需合理把控。气浮装置的能耗分布呈现双峰特征, 溶气释放过程与刮渣系统的运行时间占比决定整体能耗强度, 微气泡生成效率与表面负荷率的匹配程度是影响能耗的关键因素, 优化匹配可有效降低能耗。

1.2 深度处理环节能耗机制探究

深度处理阶段的能耗特性与处理工艺选择密切相关。膜分离系统的能耗构成呈现差异化特征, 超滤单元的能耗主要消耗在循环泵的液压驱动, 跨膜压差与膜通量的动态关系决定单位产水的能量消耗; 反渗透系统的核心能耗源于高压泵的持续做功, 进水盐浓度与系统回

收率的相互作用形成能耗曲线, 浓水排放量与操作压力的平方成正比关系。高级氧化单元的能耗集中体现在光源系统与加药装置, 紫外灯功率密度与氧化剂投加量的协同作用决定污染物降解效率, 自由基生成速率与目标物反应活性的匹配程度影响能量利用效率。

1.3 水回用环节能耗优化路径

水回用系统的能耗分布呈现多维度特征。循环冷却水系统的能耗主要源于冷却塔风机与循环水泵, 环境温度湿度与冷却负荷的动态变化导致风机转速频繁调整, 变频调速技术的应用可显著降低无功损耗。中水回用单元的能耗构成具有工艺依赖性, 膜生物反应器的能耗集中在曝气系统与膜组件驱动, 溶解氧浓度与膜表面剪切力的平衡关系决定整体能耗水平; 人工湿地系统的能耗虽较低, 但潜流区布水均匀性与植物蒸腾作用的耦合效应影响长期运行稳定性。

1.4 辅助系统能耗协同控制

辅助系统的能耗特征呈现分散化与耦合性。加药系统的能耗主要源于计量泵的持续运行, 药液粘度与管道阻力的相互作用影响泵效, 智能投加装置通过流量-浓度双参数控制可降低过量投加导致的能耗浪费。搅拌系统的能耗分布与反应器型式密切相关, 桨式搅拌器的能耗集中于叶轮旋转产生的剪切力, 推进式搅拌器的能耗则体现在轴向流动的维持, 流场均匀性与能耗密度的匹配程度决定能量利用效率。输送系统的能耗构成呈现梯度特征, 离心泵的效率曲线与管网特性曲线的交点决定工作点, 变频调速技术通过改变转速实现流量调节, 较阀门节流方式可降低能耗。

2 大型化工化学水处理设备节能降耗改造技术路径

2.1 预处理设备改造技术路径

预处理设备改造聚焦过滤与沉淀单元的能效提升。

过滤设备结构优化通过流场模拟与实验验证相结合的方式,对滤料级配、布水方式及反冲洗策略进行系统性改进。采用变孔隙率滤层设计可增强截污能力,梯度滤料配置使悬浮物在滤层纵向分布更均匀,延长过滤周期。沉淀设备运行方式改进侧重于流态控制与污泥排放优化,通过调整进水堰板形式与沉淀区高度比,降低水流短路概率,配合智能排泥系统实现污泥浓度动态监测与精准排放,减少无效能耗。斜板沉淀装置的改造重点在于板间距与倾角的协同调整,在保证沉淀效率前提下降低水流上升流速,从而降低驱动设备功率需求。

2.2 深度处理设备改造技术路径

深度处理设备改造围绕膜处理与吸附氧化单元展开^[2]。膜处理设备节能改造通过膜组件结构创新与运行参数优化实现,采用中空纤维膜替代传统板式膜可降低流体阻力,配合周期性变流量运行模式,在维持膜通量前提下减少驱动能耗。吸附设备效能提升聚焦于吸附剂再生工艺改进,通过微波辅助再生技术缩短再生周期,降低热再生能耗,同时开发新型复合吸附材料提升单位质量吸附容量。氧化设备改造侧重于反应器结构优化与能量输入方式创新,采用多相流光催化反应器可增强光量子利用率,配合LED光源替代传统汞灯,在降低能耗同时提升自由基生成效率。

2.3 水回用设备改造技术路径

水回用设备改造涵盖管路系统与处理单元两个层面。回用管路优化通过水力计算与压力分布分析,对管径组合与走向进行重新设计,消除局部水头损失,配合智能压力调节阀实现动态平衡,降低输送能耗。处理单元整合改造采用模块化设计理念,将传统分散式处理单元集成为多功能复合装置,通过流场重构与功能耦合,减少中间提升环节与冗余设备配置,实现能量梯级利用。

2.4 辅助系统节能改造技术路径

辅助系统改造聚焦加药与搅拌输送环节。加药系统精准化改造通过流量-浓度双闭环控制实现,采用质量流量计替代传统体积计量方式,配合变频计量泵实现药液投加量动态匹配,消除过量投加导致的无效能耗。搅拌设备节能化改造基于流体力学仿真结果,对桨叶型式与安装角度进行优化设计,采用轴流型桨叶替代径流型可降低扭矩需求,配合智能调速装置根据反应阶段需求调整转速,实现能耗与混合效果的平衡。输送设备改造侧重于泵系统效率提升,通过叶轮切割与密封形式改进降低容积损失,配合变频驱动技术实现流量按需调节,较传统阀门节流方式可显著降低能耗。

3 节能降耗改造技术的适配性分析

3.1 不同水质条件下改造技术适配要点

水质特性对改造技术适配性具有决定性影响。高悬浮物含量水体需优先优化预处理单元,通过强化过滤设备截污能力与沉淀设备固液分离效率,降低后续处理单元负荷。针对高盐度水体,膜处理设备改造应侧重抗污染膜材料选型与反冲洗策略优化,防止盐析导致的膜通量衰减。含有机污染物水体需重点提升氧化设备效能,通过调整光源波长或催化剂投加量增强自由基生成效率,实现污染物深度降解。低浊度水体改造可简化预处理流程,将节能重点转向输送系统效率提升,通过优化管径组合与泵组匹配降低水头损失^[3]。对于含重金属离子水体,吸附设备改造需关注吸附剂再生周期与能耗平衡,采用微波辅助再生技术缩短再生时间,降低热能消耗。水质波动频繁场景需构建动态调控系统,通过在线监测仪表实时反馈水质参数,驱动变频设备自动调整运行参数,维持处理效果与能耗的动态平衡。

3.2 不同规模化工装置水处理设备改造技术适配要点

装置规模差异导致改造技术适配路径呈现梯度特征。大型装置具有流程长、设备多的特点,改造应侧重系统级能效优化,通过构建能量回收网络实现热-电-水多能流协同,例如利用膜处理浓水余热预热进水,减少外部热源输入。中型装置改造可聚焦单元设备升级,采用高效电机替换传统驱动设备,配合智能控制系统实现运行参数动态匹配,在设备级提升能量利用效率。小型装置受空间与投资限制,改造宜采用模块化集成技术,将预处理、深度处理等功能单元整合为标准化模块,通过缩短流程链降低中间环节能耗。连续生产型装置改造需保证工艺稳定性,优先对非关键路径设备进行节能改造,例如将定速泵替换为变频泵,逐步实现全流程节能控制。间歇生产型装置可充分利用停机间隙实施深度改造,例如对沉淀池进行流态优化改造,或对膜组件实施化学清洗恢复通量,通过提升设备本体效率降低单位产品能耗。不同规模装置的改造均需考虑投资回收期,大型装置可通过规模效应分摊改造成本,中小型装置则需选择见效快、维护简单的技术方案。

4 改造技术实施流程

4.1 设备能耗排查与定位流程

能耗排查需建立多维度数据采集体系,通过安装分项电表、流量计及压力传感器,对水处理全流程各单元设备进行实时监测。重点采集驱动设备功率、流体输送能耗及处理单元电耗数据,结合工艺参数变化趋势,绘制能耗分布热力图。采用能量平衡分析法,对比输入能量与有效输出能量差值,定位能量损失集中环节。对预

处理单元,需分析过滤设备反冲洗能耗与沉淀设备排泥能耗占比;深度处理环节应关注膜组件驱动能耗与氧化设备光源能耗的波动特征;辅助系统重点排查加药泵与搅拌机运行效率。通过建立设备能耗数据库,运用数据挖掘技术识别异常能耗模式,结合设备运行日志与维护记录,确定能耗偏高根源,为后续改造提供精准靶向。

4.2 改造技术选型流程

技术选型需构建三维评估模型,从技术可行性、经济合理性及运行稳定性三个维度进行综合评价。技术可行性评估侧重于改造方案与现有工艺的兼容性,通过流场模拟与物料平衡计算,验证新设备或新工艺的适配性。经济合理性分析采用全生命周期成本法,计算初始投资、运行维护费用及节能收益的净现值,优先选择投资回收期短的技术方案。运行稳定性评价需开展小试试验,监测改造后设备在连续运行条件下的性能衰减率及故障发生率^[4]。针对预处理设备改造,可对变孔隙滤料与梯度滤料的截污能力提升幅度;膜处理设备改造需评估抗污染膜与常规膜的通量恢复率差异;吸附设备改造应分析新型吸附剂与传统材料的再生能耗比。通过建立技术选项库,运用层次分析法确定各维度权重,最终筛选出最优改造技术组合。

4.3 改造施工关键流程

施工准备阶段需完成设备基础复核与管线走向优化,对涉及结构改造的部位进行强度校核,确保改造后设备运行安全。设备拆除阶段采用模块化拆解方式,对关键连接部位进行编号标记,保证后续安装精度。新设备安装需严格控制垂直度与水平度,对膜组件等精密设备实施无尘安装,防止微粒污染影响性能。管线连接采用氩弧焊工艺,确保焊缝质量符合压力管道标准,对动设备进出口管线安装弹性补偿器,降低振动传递。电气系统改造需核对电缆载流量与设备功率匹配性,对变频器等敏感元件设置电磁屏蔽,防止信号干扰。施工过程实施质量追溯制度,关键工序留存影像记录,为后续验收提供依据。

4.4 改造后设备调试流程

调试工作分单机调试与联动调试两个阶段。单机调试重点验证设备运行参数与设计值的符合性,对泵类设备测试流量-扬程曲线,对膜设备检测跨膜压差与通量的对应关系,对氧化设备校验光源强度与自由基浓度的相关性。联动调试模拟实际工况,检验各单元间的协同运行能力,通过调整前处理单元出水水质,验证深度处理设备的抗冲击负荷能力^[5]。性能测试阶段采用标准污染物溶液,连续运行72小时监测处理效率与能耗指标,对比改造前后数据评估节能效果。对未达预期指标的设备,分析参数偏差原因,通过调整变频器频率、改变药剂投加点位等方式进行优化。调试完成后编制操作规程,对运行人员进行专项培训,确保改造设备长期稳定运行。

结束语

化工化学水处理设备节能降耗改造是一项系统且复杂的工作。通过对能耗核心环节的深入剖析,明确了各环节能耗特征与关键影响因素;提出的改造技术路径与适配性分析,为不同场景下的节能改造提供了针对性方案;详细的实施流程确保改造工作有序推进、取得实效。实施节能降耗改造不仅能降低企业运营成本,还能减少能源消耗与环境污染,对推动化工行业绿色可持续发展具有重要意义,相关技术与经验值得在行业内推广应用。

参考文献

- [1]张艳,张新仁,杨晓东,等.论电化学循环水处理设备在化工企业实际应用效果[J].化工设计通讯,2024,50(6):40-42.
- [2]孙慧因,王平,姜文瑛.化学化工实验室污水处理研究[J].化纤与纺织技术,2025,54(10):135-137.
- [3]张建兵.电化学水处理设备在高电流密度情况下的杀菌能力研究[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(3):272-274.
- [4]李芳略.化工安全生产中电化学水处理技术的运用实践研究[J].当代化工研究,2025(9):127-129.
- [5]肖旭,梁曼丽,袁维波,等.电化学技术在化工废水处理中的研究进展[J].净水技术,2024,43(11):39-47.