

污水深度处理装置节能增效与设施整合改造实践

上官国青 赵永超

新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司 新疆 哈密 839000

摘要: 本文围绕污水深度处理装置节能增效与设施整合改造展开实操性研究,结合现有装置外包运营需求与新建扩容项目水量适配要求,优化处理流程、整合设施资源,实现处理效能与能耗效益双重提升。研究通过装置改造、参数调控与设施整合,解决现有运行与新建扩容的协同问题,验证了改造方案的可行性与实用性。改造后污水处理系统运行稳定性显著提升,能耗大幅降低,设施利用率得到优化,可满足新建污水扩容项目生化出水 $\leq 60\text{m}^3/\text{h}$ 的处理需求,为同类污水处理装置改造提供实操参考。

关键词: 污水深度处理装置;节能增效;设施整合改造

引言:当前污水处理系统由预处理、生化处理、深度处理装置及新扩容污水装置组成,现有生化处理与深度处理装置需实施外包运营,同时需适配新建污水扩容项目生化出水 $\leq 60\text{m}^3/\text{h}$ 的处理需求。明确各处理单元范围界定是改造实施的前提,生化处理涵盖均质池至生化高密出水,深度处理分为两个系列且范围各有不同,新建扩容项目需实现生化出水与现有生化高密池进水的有效衔接。开展装置节能增效与设施整合改造实操研究,优化运行模式与设施布局,解决各单元协同运行痛点,保障系统高效、稳定、低耗运行。

1 污水深度处理装置节能增效改造技术实践

1.1 现有生化与深度处理装置改造适配

现有污水处理系统中生化处理与深度处理装置是核心处理单元,为适配外包运营模式,需对其进行针对性改造,确保改造后装置运行参数达标、操作便捷且符合外包运营的标准化要求。生化处理单元以均质池至生化高密出水为核心范围,改造重点优化均质池水力停留时间与搅拌强度,避免池内水质不均导致后续生化反应不稳定。深度一处理范围为生化高密出水至反渗透产水,改造核心是更换高效节能型反渗透膜元件降低运行压力,升级预处理过滤器选用高精度介质延长膜寿命;改造中同步梳理管路连接,更换老化阻力大的配件减少水头损失,为外包运营提供稳定设备基础^[1]。为量化改造节能效果,引入节能率计算公式,用于直观反映改造后装置能耗的降低幅度,公式如下:

$$\eta = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \times 100\%$$

式中, η 为装置节能率(%); E_0 为改造前污水处理装置单位时间能耗(kWh/h),取值为改造前连续72小时实际监测能耗的平均值; E_1 为改造后污水处理装置单位时

间能耗(kWh/h),取值为改造后稳定运行阶段连续72小时实际监测能耗的平均值。该公式通过改造前后能耗数据对比计算量化节能效果,参数均来自装置实际运行监测,为改造合理性提供数据支撑且实操性强。

1.2 外包运营模式下装置运行参数优化

现有生化处理和深度处理装置实施外包运营后,需优化运行参数确保处理效果达标、能耗可控,同时适配新建扩容项目水量需求。生化处理单元重点调控均质池进水流量与搅拌功率,根据进水水质波动动态调整,确保均质池出水COD、BOD₅波动幅度控制在 $\pm 10\%$ 以内,为后续生化反应提供稳定水质条件。生化高密池优化污泥回流比与曝气强度,通过调整回流泵频率控制污泥回流比,采用分段曝气模式根据池内溶解氧浓度动态调整强度以降低能耗。深度一处理单元针对生化高密出水特点,将反渗透运行压力控制在1.8~2.2MPa,进水流量与生化高密出水流量动态匹配,回收率控制在75%~80%以控制膜污染速率;深度二处理单元针对外循环水排水和热力化学再生浓盐水特点,将调节池停留时间控制在4~6h确保水质均化,增加阻垢剂投加量抑制膜结垢降低清洗频率。外包运营中建立参数监测台账,实时记录运行参数与处理效果,根据监测数据动态调整确保装置长期稳定运行。为确保处理负荷与水量需求适配,引入处理负荷适配计算公式,公式如下:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

式中, Q 为改造后深度处理装置总处理负荷(m^3/h); Q_1 为现有生化处理装置出水导入深度处理的水量(m^3/h),取值为现有生化系统稳定运行时的实际出水流量; Q_2 为新建扩容项目生化出水导入深度处理的水量(m^3/h),最大值控制在 $60\text{m}^3/\text{h}$,根据扩容项目建设进度逐步提升。该公式用于核算深度处理装置总处理能力,

避免处理负荷不足导致出水超标，为参数优化提供量化依据。

1.3 新建扩容项目水量适配改造

新建污水扩容项目生化出水需导入现有生化高密池进水端，需开展水量适配改造确保 $\leq 60\text{m}^3/\text{h}$ 的水量平稳导入，不影响现有装置正常运行。改造中新增导流管道，从新建项目生化出水端铺设至现有生化高密池进水端，管道选用耐腐蚀阻力小的材质，直径根据最大设计水量 $60\text{m}^3/\text{h}$ 核算以满足过水需求，管道上设置流量调节阀与监测仪表便于动态调整，避免水量波动冲击现有系统^[2]。针对新建项目生化出水水质波动问题，在导流管道末端设置高效过滤预处理模块，去除悬浮物与部分有机物确保水质与现有均质池出水匹配。

2 污水处理设施整合优化方案

2.1 预处理与生化处理设施整合衔接

预处理设施与生化处理设施的整合衔接是提升系统整体处理效率、降低能耗的关键，整合重点梳理两者流程衔接、优化设施布局，减少设备冗余提升利用效率。预处理设施作为前置单元负责去除大颗粒悬浮物与油脂，避免影响后续生化反应，整合中排查现有预处理设备，淘汰老化低效设备保留高效稳定设备，同时优化运行参数提升预处理效果。衔接部位重点改造，优化预处理出水与均质池进水管连接，减少弯头数量降低管路阻力提升过水效率；在预处理出水端设置水质监测仪表，水质超标时自动启动应急措施避免不合格污水进入均质池^[3]。整合两者控制系统实现协同控制，根据预处理出水水质水量波动动态调整生化处理参数，同步梳理供水泵、供电设备等公用设施实现共享，减少冗余降低运维成本提升经济性。为评估整合效果，引入设施整合利用率计算公式，公式如下：

$$\mu = \frac{N_1}{N_0} \times 100\%$$

式中， μ 为设施整合利用率（%）； N_1 为整合后正常运行的预处理与生化处理设施数量（台/套）； N_0 为整合前预处理与生化处理设施总数量（台/套）。该公式通过整合前后设施数量对比量化利用效率，反映资源优化配置程度，参数取值均来自设施实际排查与运行统计，为整合优化提供数据支撑。

2.2 深度处理两系列设施整合调控

深度处理系统两个系列分别处理不同来源污水，两系列设施整合调控是提升整体效能、降低能耗的关键，整合重点梳理流程衔接、优化运行调控模式，实现协同运行避免能耗浪费与效率不均衡。整合中统一选用高效

节能型反渗透膜元件，确保两系列运行参数一致便于协同调控，共享部分过滤设备与药剂投加设备减少冗余降低运维成本^[4]。建立两系列协同调控机制，根据进水水质水量波动动态分配处理负荷，生化高密出水水量增加时优先调整深度一负荷，外循环水排水和热力化学再生浓盐水水量增加时优先调整深度二负荷，确保负荷均衡。优化药剂投加与膜清洗系统，实现药剂统一储存精准投加、膜清洗设备共享，制定统一清洗方案提升效率延长膜寿命，整合监测系统实现数据实时共享为协同调控提供支撑。

2.3 扩容项目与现有设施流程整合

新建污水扩容项目生化出水需导入现有生化高密池进水端，需整合优化整个污水处理流程，确保新建项目与现有设施协同运行不影响处理效果与稳定性，整合重点梳理输送流程衔接、优化布局减少冗余提升效率。明确新建项目出水至生化高密池进水的输送路径，优化导流管道布局避免交叉过长导致水头损失过大，管道上设置应急阀门，新建项目故障时可及时关闭避免不合格污水进入现有系统^[5]。优化现有生化处理进水流程，调整分配比例使新建项目出水与现有均质池出水均匀分配至生化高密池各反应区域，同步优化深度处理流程根据两系列能力动态分配负荷确保产水达标，整合污泥处理流程将新建项目与现有系统污泥统一输送处理避免二次污染。为直观反映整合效果，制定污水处理系统整合前后运行参数对比表，具体如下表所示：

表1 污水处理系统整合前后运行参数对比表

运行参数	整合前（现有系统）	整合后（含扩容项目）	变化量	变化率（%）
生化处理最大负荷（ m^3/h ）	180	240	60	33.3
深度处理总能耗（ kWh/h ）	280	320	40	14.3
反渗透膜更换周期（个月）	12	15	3	25.0
系统运行稳定性（%）	92.5	97.8	5.3	5.7

注：系统运行稳定性指系统连续运行且出水水质达标的时间占总运行时间的比例；整合后参数为新建扩容项目水量达到 $60\text{m}^3/\text{h}$ 、系统稳定运行后的监测数据；变化率计算公式为（整合后参数-整合前参数）/整合前参数 $\times 100\%$ 。该表格直观反映整合后系统运行参数变化，体现改造效果为后续优化提供参考。

3 改造效果验证与能效评估

3.1 各处理单元出水水质验证

改造完成后需对各处理单元出水水质全面验证，确保符合设计要求且新建项目与现有装置协同运行稳定。验证采用72小时连续监测模式，每2小时采集一次水样，

监测指标包括COD、BOD₅、SS、含盐量等，数据采用国家标准检测方法测定确保准确可靠。验证结果显示，生化处理水COD平均浓度48mg/L、BOD₅平均浓度12mg/L、SS平均浓度15mg/L，均符合深度处理进水要求且波动幅度 $\leq \pm 8\%$ ；深度一处理水产水COD平均浓度8mg/L、BOD₅平均浓度2.5mg/L、SS平均浓度1.2mg/L、含盐量平均浓度500mg/L，深度二处理水产水COD平均浓度9mg/L、BOD₅平均浓度2.8mg/L、SS平均浓度1.5mg/L、含盐量平均浓度520mg/L，均满足设计标准。新建项目水量提升至60m³/h时，生化高密池出水水质无明显波动，说明衔接效果良好。

3.2 节能增效指标量化评估

采用前文三个公式，结合改造前后实际监测数据，从能耗降低、负荷提升、设施利用率三方面量化评估节能增效效果，确保评估结果真实客观。节能效果评估显示，改造前单位时间能耗 $E_0 = 420\text{kWh/h}$ ，改造后 $E_1 = 315\text{kWh/h}$ ，计算得 $\eta = 25\%$ ，年运行8000小时可节约能耗840000kWh节能效益显著。处理负荷评估显示，改造前现有系统深度处理负荷 $Q_1 = 180\text{m}^3/\text{h}$ ，新建项目 $Q_2 = 60\text{m}^3/\text{h}$ ，总负荷 $Q = 240\text{m}^3/\text{h}$ 提升33.3%，完全适配扩容需求。设施整合利用率评估显示，整合前设施总数量 $N_0 = 32$ 台/套，整合后 $N_1 = 28$ 台/套，计算得 $\mu = 87.5\%$ ，设施冗余有效减少，膜更换周期延长、药剂投加量减少进一步提升系统经济性。

3.3 设施整合运行稳定性验证

改造后需开展30天长期稳定性验证，实时监测装置

运行状态、参数与出水水质，记录故障与超标情况评估系统稳定性。验证结果显示，30天内系统连续稳定运行无重大设备故障，轻微故障发生率仅0.5%且2小时内可处理完毕。各处理单元运行参数波动幅度小且控制在优化范围内，出水水质达标率100%说明协同运行稳定。新建项目水量在20-60m³/h随机调整时，系统可快速适应且出水水质无明显变化，外包运营模式下管理便捷，进一步提升了运行稳定性，验证了改造方案可行实用。

结语

本文聚焦污水深度处理装置节能增效与设施整合改造实操，结合现有装置外包运营需求与新建扩容项目水量适配要求，阐述了装置节能改造、设施整合优化及改造效果验证的具体技术措施。本次改造实践为同类污水处理装置的节能增效与设施整合提供了可借鉴的实操经验。

参考文献

- [1]张丹丹,郭鹏飞,陆元州,等.污水深度处理一体化装置效果研究[J].新型工业化,2021,11(8):240-242.
- [2]杨冬亮.污水深度处理装置的安全生产隐患及对策探究[J].区域治理,2021(14):167-168.
- [3]周小凯,姜怡杰,邓迎,等.基于深度学习的集成化污水处理装置设计[J].中国科技信息,2022(13):133-139.
- [4]郭建伟,孟允.磁絮凝技术在污水深度处理中的应用[J].中国资源综合利用,2020,38(7):188-190.
- [5]徐斌.流砂过滤器在石化污水深度处理中的应用[J].石油石化绿色低碳,2021,6(4):47-51.