

污水深度处理装置长周期运行导向的流程优化实践

程彬伟 白斌兴

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长周期运行导向, 聚焦三标段整体工艺流程优化实践, 在充分利用已建设施的基础上, 通过流程调整、局部技改与设施整合, 实现全系统工艺捋顺与稳定高效运行。优化过程中化繁为简处置冗余设施, 强化上下游工艺衔接, 局部实施必要技改, 解决现有流程衔接不畅、设施利用率偏低等痛点。实践验证, 优化后全系统形成有机整体, 运行稳定性显著提升, 设施冗余大幅减少, 可长期持续良性运行, 为同类污水处理标段流程优化提供实操参考。

关键词: 污水深度处理装置; 长周期运行导向; 流程优化

引言: 污水深度处理三标段现有工艺流程存在衔接不畅、部分设施冗余、上下游协同不足等问题, 制约全系统长周期稳定运行。本次优化以长周期良性运行为核心导向, 在充分依托已建设施、避免重复投入的基础上, 对三标段整体工艺流程进行系统性调整, 局部实施针对性技改, 停用或超越不必要处理设施, 重点捋顺上下游工艺衔接逻辑, 推动全厂污水处理设施有机融合为整体, 保障系统持续稳定高效运行, 满足长期处理达标需求。

1 三标段污水处理工艺流程现状梳理与优化原则

1.1 现有工艺流程现状及长周期运行痛点

三标段污水处理现有流程由预处理、生化处理、深度处理各单元串联组成, 依托已建设施实现污水从进水到产水的全流程处理, 但长期运行过程中逐渐显现诸多制约长周期稳定运行的痛点。现有流程未形成有机整体, 各单元独立运行导致上下游工艺参数不匹配, 进水水质水量波动时易出现处理断层, 影响全系统运行稳定性。部分处理设施功能重叠形成冗余, 不仅增加设备运维成本, 还占用场地资源、增加系统能耗, 且冗余设施的闲置或低效运行降低全系统运行效率^[1]。工艺衔接节点设计不合理, 部分单元出水导入下一单元时存在水力冲击, 导致后续单元运行参数波动, 增加故障发生率。部分已建设施运行年限较长, 未及时进行针对性技改, 处理效能下降, 无法适配全系统长周期稳定运行需求, 且设施间协同性不足, 难以实现全流程高效联动, 制约系统整体处理效能的充分发挥。

1.2 长周期导向下流程优化核心原则

流程优化严格遵循充分利用已建设施的核心原则, 最大限度发挥现有设施处理效能, 避免盲目新建建设施造成的资源浪费与成本增加, 所有优化措施均基于已建设施的结构与性能设计, 确保技改与调整方案具备可行性与

经济性。坚持化繁为简的优化原则, 全面梳理现有处理设施。聚焦上下游工艺合理衔接原则, 重点优化各单元衔接节点, 确保各单元运行参数匹配, 减少水力冲击与参数波动, 实现全流程顺畅联动, 提升系统抗干扰能力。

1.3 流程优化整体思路

本次流程优化以三标段全系统长周期稳定运行为核心导向, 先全面梳理现有工艺流程与已建设施性能, 明确各单元功能定位与运行现状, 排查冗余设施与衔接痛点, 建立详细的现状台账。基于现状台账制定针对性优化方案, 对现有工艺流程进行系统性调整, 捋顺预处理、生化处理、深度处理各单元的联动逻辑, 优化衔接节点设计^[2]。对必要的处理设施实施局部技改, 提升设施处理效能与运行稳定性, 适配全系统长周期运行需求。优化各单元运行参数, 实现上下游参数协同匹配, 建立全系统联动调控机制, 推动全厂污水处理设施有机结合形成整体, 最终实现全系统流程顺畅、设施高效、运行稳定、能耗可控的长周期良性运行目标。

2 三标段污水处理流程优化与局部技改实施

2.1 整体工艺流程调整优化

整体工艺流程调整以捋顺全系统联动逻辑为核心, 打破各单元独立运行的模式, 对预处理、生化处理、深度处理各单元的运行流程进行系统性整合。预处理单元保留现有格栅、调节池等核心已建设施, 优化调节池水力流态, 增设导流装置减少死水区, 提升水质均化效果, 确保预处理出水水质稳定, 为后续生化处理单元提供良好进水条件。调整生化处理单元运行流程, 优化曝气系统与污泥回流系统的运行逻辑, 将原有均匀曝气改为分段精准曝气, 采用微孔曝气器替换原有曝气设备, 提升曝气均匀性与氧利用率, 降低曝气系统能耗; 合理调控污

泥回流系统，将污泥回流比稳定在50%~70%之间，通过变频调控实现回流流量的动态适配，使生化处理单元出水能够平稳导入深度处理单元，出水流速控制在0.8~1.2m/s，避免水力冲击导致的参数波动。优化深度处理单元流程顺序，根据已建设施性能调整各处理模块的排列顺序，将原有后置过滤改为前置精密过滤，先去除生化出水中的细小悬浮物，再进入反渗透系统，提升深度处理效能，确保产水COD ≤ 8mg/L、含盐量 ≤ 500mg/L，符合设计出水标准。通过流程调整，实现各单元运行参数协同匹配，推动全系统形成有机整体，提升全流程处理效率与稳定性^[3]。为量化流程衔接优化效果，引入工艺衔接顺畅度计算公式，公式如下：

$$\gamma = \frac{T_1}{T_0} \times 100\%$$

式中， γ 为工艺衔接顺畅度（%）； T_1 为优化后全系统连续顺畅运行时间（h），取值为优化后稳定运行阶段连续监测的顺畅运行时长； T_0 为优化后全系统总运行时间（h），取值与 T_1 监测周期一致。该公式通过连续顺畅运行时间与总运行时间的比值，量化工艺衔接优化效果，衔接顺畅度越高，说明流程衔接越合理，系统运行越稳定，参数均来自系统实际运行监测，实操性强。

2.2 冗余设施处置与必要技改实施

全面梳理现有处理设施，对功能重叠、低效运行且无保留必要的处理设施实施超越或停用处置，停用2台功能重叠的预处理过滤设备与1台低效运行的中间水池提升泵，超越1段冗余的深度处理过滤环节，精简流程的同时减少能耗与运维成本。对停用设施进行妥善处置，做好防腐、封存处理，预留后期应急启用条件，确保不影响系统应急运行需求。对各单元衔接管道进行技改，更换

老化、阻力大的管道配件，优化管道布局，减少水力损失，确保各单元出水顺畅导入。为量化设施优化后的利用效率，引入设施利用率计算公式，公式如下：

$$\theta = \frac{N_s}{N_t} \times 100\%$$

式中， θ 为已建设施利用率（%）； N_s 为优化后正常运行的已建设施数量（台/套），取值为系统稳定运行时实际投入使用的现有设施数量； N_t 为三标段已建设施总数量（台/套），取值为梳理后全部已建设施的统计数量。该公式通过正常运行设施与总设施数量的比值，量化已建设施利用效率，利用率越高，说明设施资源配置越合理，冗余越少，为设施优化效果提供量化支撑。

2.3 工艺衔接节点优化

重点优化各单元工艺衔接节点，预处理单元与生化处理单元衔接处增设缓冲水箱，有效缓解预处理出水波动对生化处理单元的冲击，缓冲水箱容积根据最大进水量核算，确保能够稳定调节水量水质，使生化处理单元进水参数保持稳定。生化处理单元与深度处理单元衔接处优化导流结构，设置分流导流装置，使生化出水均匀导入深度处理单元，避免局部水力负荷过高导致的处理效能下降^[4]。优化各衔接节点的监测与调控装置，在每个衔接节点增设水质、水量监测仪表，实时监测衔接处的水质水量参数，监测数据接入全系统调控平台，根据监测数据动态调整各单元运行参数，确保衔接节点参数匹配。对衔接节点的管道接口进行优化，采用防泄漏、抗冲击的接口设计，减少管道泄漏与水力冲击，提升衔接节点运行稳定性，确保全流程顺畅联动。为直观反映流程优化前后系统运行关键参数的变化，制定三标段污水处理流程优化前后运行参数对比表，具体如下表1所示：

表1三标段污水处理流程优化前后运行参数对比表

运行参数	优化前	优化后	变化量	变化率（%）
工艺衔接顺畅度（%）	78.2	96.5	18.3	23.4
已建设施利用率（%）	72.5	92.8	20.3	28.0
系统能耗（kWh/m ³ ）	1.85	1.42	-0.43	-23.2
故障停机时间（h/月）	12.6	2.8	-9.8	-77.8

注：变化率计算公式为（优化后参数-优化前参数）/优化前参数 × 100%；优化后参数为流程优化与技改完成后，系统稳定运行1个月的平均监测数据；系统能耗为单位体积污水处理消耗的电能；故障停机时间为每月因流程衔接或设施故障导致的停机总时长。

3 流程优化效果验证与长周期运行保障

3.1 优化后工艺流程运行效果验证

流程优化与局部技改完成后，对三标段污水处理

全流程运行效果进行连续验证，验证周期为30天，实时监测各单元处理效能、流程衔接情况与系统运行参数，确保优化方案达到预期目标。验证结果显示，优化后全系统工艺流程顺畅，各单元衔接紧密，预处理单元出水COD平均浓度控制在180mg/L以下，水质波动幅度 ≤ ± 5%，能够为生化处理单元提供稳定进水条件。生化处理单元处理效能显著提升，出水COD平均浓度 ≤ 45mg/L，BOD₅平均浓度 ≤ 10mg/L，满足深度处理单

元进水要求；深度处理单元产水水质稳定，COD平均浓度 $\leq 8\text{mg/L}$ ，含盐量 $\leq 500\text{mg/L}$ ，符合设计出水标准。冗余设施处置后，系统流程精简合理，无处理断层与参数大幅波动现象，全流程处理效率提升显著，充分发挥了已建设施的处理效能。

3.2 长周期运行稳定性评估

引入长周期运行稳定性计算公式，对优化后系统的长期稳定运行能力进行量化评估，公式如下：

$$\delta = \frac{T_s - T_f}{T_s} \times 100\%$$

式中， δ 为长周期运行稳定性（%）； T_s 为评估周期总时长（h），本次评估周期设定为90天（2160h）； T_f 为评估周期内故障停机总时长（h），取值为评估周期内所有因系统故障导致的停机时长总和。该公式通过评估周期内有效运行时长与总时长的比值，量化系统长周期运行稳定性，稳定性越高，说明系统长期运行可靠性越强，能够有效保障全系统持续良性运行。

评估结果显示，90天评估周期内，系统故障停机总时长仅为8.2h，代入公式计算得 $\delta = (2160 - 8.2) / 2160 \times 100\% \approx 99.6\%$ ，表明优化后系统长周期运行稳定性极高。评估期间，系统能够平稳应对进水水质水量波动，各单元运行参数稳定，衔接节点无泄漏、无冲击现象，停用与技改后的设施运行稳定，全系统实现连续良性运行，达到长周期运行导向的优化目标。

3.3 优化后效能量化分析与长效保障措施

结合优化前后运行参数对比与公式计算结果，对优化后系统效能进行量化分析，优化后工艺衔接顺畅度提升至96.5%，较优化前提升23.4%，全流程顺畅运行能力显著增强；已建设施利用率提升至92.8%，较优化前提升28.0%，有效发挥了现有设施效能，减少资源浪费。系统

单位体积污水处理能耗降至 1.42kWh/m^3 ，较优化前下降23.2%，每月故障停机时间减少9.8h，下降77.8%，运维成本与能耗成本大幅降低。

为保障系统长期稳定良性运行，建立长效运行保障机制，定期对已建设施进行巡检与维护，重点检查技改部位与衔接节点，及时处理潜在故障隐患；建立运行参数动态调控机制，根据进水水质水量变化实时调整各单元运行参数，确保上下游参数匹配；定期对停用设施进行检查与保养，确保应急状态下能够快速启用，全面保障三标段污水处理系统长周期稳定高效运行。

结语

本研究开展了聚焦长周期稳定运行的三标段污水处理流程优化实践工作，通过对系统的梳理、针对性的流程调整以及必要的技术改造，切实解决了原有工艺流程中存在的问题，优化后的系统构建起有机整体，工艺衔接的顺畅状况得到大幅提高，设施利用效率得到明显优化，运行能耗与故障率一同降低，完成了从“分段运行”向“全流程协同”的积极过渡。

参考文献

- [1]郭振宇.污水深度处理系统在炼油企业的运行[J].化工管理,2020(16):66-68.
- [2]王国栋,刘庆洁.反硝化组合工艺在污水深度处理中的应用[J].聚酯工业,2022,35(2):60-63.
- [3]李瑞.反硝化脱氮工艺在污水深度处理中的应用与优化[J].聚酯工业,2024,37(2):33-35,42.[4]
- [4]马丽,者有强.生活污水深度处理研究及运行小结[J].中氮肥,2021(3):65-68.
- [5]杨文中,袁哲,刘雄,等.北湖污水处理厂深隧泵站水泵装置安装及调试[J].安装,2024(4):27-30.