

2,4-滴生产废水预处理工艺优化与运行效果

黎海帆

湖北兴晨科技有限公司 湖北 宜都 443300

【摘要】：2,4-滴生产废水具有高浓度有机污染物、毒性较强及可生化性差等特征，直接处理易造成系统负荷波动。针对预处理效率不足及污染削减不充分问题，通过优化混凝沉淀、强化氧化及水解酸化协同工艺，调整 pH 控制、药剂配比及反应时间，实现污染物逐级降解与毒性削减。运行结果显示 COD 及特征污染物去除率明显提升，出水稳定性增强，整体处理性能得到改善。

【关键词】：2,4-滴废水；预处理工艺；工艺优化；污染控制；运行效果

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.003

引言

2,4-滴生产过程中排放的废水含有较高浓度有机物及结构复杂的难降解组分，毒性较强且水质波动明显，对常规处理系统适应性提出较高要求。现有预处理环节在污染物削减效率及稳定运行方面表现不足，进入后续生化处理时易出现负荷冲击。针对污染负荷转化效率偏低及分级去除不彻底问题，通过强化混凝沉降作用、提升氧化分解能力及构建水解酸化协同路径，并对运行参数进行精细化调控，使污染物结构逐步断裂并降低整体毒性。运行过程表现出更稳定的水质输出及更高的污染去除水平，为后续处理单元提供更优进水条件。

1 废水来源特性识别及污染构成解析

1.1 生产环节废水产生节点梳理

2,4-滴生产过程中废水主要来源于缩合反应、洗涤分离及母液回收等多个工艺单元，不同节点排水水质差异显著。缩合反应阶段由于原料转化不完全及副反应生成，使废水中含有大量中间体残留与氯代有机物；洗涤单元主要去除反应体系中的无机盐及未反应酸碱物质，形成高盐度废水体系；母液回收及设备清洗环节则引入大量间歇性冲击负荷，使污染物浓度呈现周期性波动特征。各排放节点之间水质差异与流量不均衡叠加，使整体废水呈现高毒性、高波动性及复杂组分共存特征，对后续预处理单元的稳定性与适应性提出较高要求，同时增加污染物分级去除的难度。

1.2 有机污染物组成及浓度分布分析

废水中有机污染物以芳香族氯代化合物为主，同时伴随少量酚类衍生物及未完全反应的有机酸结构，整体呈现高稳定性与难降解特征。不同污染组分在水相中的分布具有明显极性差异，其中疏水性组分易吸附于胶体颗粒形成复合污染体系，而亲水性小分子则以溶解态存在，增加了分离处理难度^[1]。COD 浓度在不同工段废水中差异较大，高浓度区间主要集中于反应母液及清洗废液，低浓度区间多出现在稀释排放阶段。污染物结构中含氯官能团增强了分子稳定性，使常规生化降解路径受阻，同时部分高分子副产物具有聚集倾向，进一步影响水体均质性与后续处理反应效率。

1.3 毒性及可生化性评价指标构建

废水毒性特征主要来源于氯代芳香族结构，其对微生物活性具有显著抑制作用，同时降低生化系统酶促反应效率。评价体系构建过程中以急性毒性响应指标与微生物呼吸抑制率为核心参数，结合 COD/BOD 比值对可生化性进行综合判定。可生化性指标呈现偏低水平，反映出有机污染物结构稳定性较高且难以被直接利用为碳源。通过引入氧化还原电位变化及分子结构破坏程度分析，可进一步识别预处理过程中污染物转化路径。

2 原有预处理流程运行瓶颈诊断

2.1 COD 削减效率偏低原因分析

原有预处理流程对 COD 的去除主要依赖混凝吸附与初级氧化作用，但有机污染物以氯代芳香结构为主，分子稳定性较高，普通混凝体系难以实现有效破坏，导致污染物更多发生相转移而非结构降解。部分溶解性有机物在胶体体系中呈稳定分散状态，削弱絮凝剂对微小颗粒的捕集效率，同时降低沉降分离效果。氧化单元中氧化剂利用率不足，反应接触界面受限，导致自由基生成量不足以完成深度断链反应。水力条件控制不足进一步加剧反应不均匀性，使局部区域存在短流与死角现象，降低整体反应充分性。多因素叠加导致 COD 削减路径停留在表层转移阶段，未形成有效矿化过程。

2.2 污泥沉降性能波动问题识别

污泥体系中颗粒组成复杂且粒径分布不均，含有大量细小胶体颗粒及有机复合物，影响絮体结构的致密性与稳定性。高氯代有机物对微生物代谢产生抑制作用，使污泥活性降低，胞外聚合物分泌不稳定，导致絮体结构松散。混凝阶段形成的絮体在剪切力作用下易发生破碎，恢复能力较弱，造成沉降界面不清晰。水质波动引起电荷中和过程不稳定，使絮凝反应窗口缩窄，沉降速度呈现明显周期性波动^[2]。固液分离界面受悬浮物再分散影响显著，污泥体积指数升高，压缩性能下降，整体沉降过程难以保持连续稳定状态。

2.3 运行负荷适应能力不足表现

原有预处理系统在进水负荷波动条件下表现出明显滞后

响应特征,高浓度冲击进入时反应体系无法快速调整氧化还原状态,导致污染物积累效应增强。低负荷阶段则出现药剂利用率下降及反应空间浪费现象,使系统运行效率降低。水力停留时间固定化设计限制了对不同浓度区间废水的动态调节能力,造成部分污染物未充分接触反应介质即进入后续单元。微生物群落负荷突变条件下结构稳定性下降,功能菌群活性恢复周期延长,进一步削弱系统缓冲能力。整体运行过程缺乏分级调节机制,使系统难以实现对复杂波动废水的自适应平衡控制。

3 组合预处理工艺构建及参数优化路径

3.1 混凝沉淀条件优化策略设计

混凝沉淀单元以胶体电荷中和与絮体架桥作用为核心控制机制,针对2,4-滴废水中高稳定性氯代有机物体系,通过强化电荷环境调控提升颗粒聚集效率。药剂体系选择围绕多价金属盐与高分子助凝剂协同作用展开,使微小胶体颗粒在短时间内形成可沉降絮体结构。反应条件中pH梯度对水解产物形态具有决定性影响,通过控制酸碱缓冲区间维持金属氢氧化物最佳生成状态,提高吸附与网捕能力。快速混合阶段强化剪切分散效果,使药剂与污染物充分接触,随后进入缓慢絮凝阶段以促进微絮体生长与碰撞聚集。沉降阶段通过优化水力负荷与表面负荷比,减少短流现象并提升固液分离界面清晰度,同时降低再悬浮风险。整体参数优化路径以界面反应动力学与颗粒稳定性协同调控为核心,使污染物由分散态向可分离态高效转化。

3.2 强化氧化反应条件调控方法

强化氧化单元通过高活性自由基体系实现难降解有机物断键反应,针对氯代芳香结构稳定性高的问题,通过提升氧化剂利用效率与反应接触概率强化分子破坏路径。氧化体系中羟基自由基生成效率受催化剂活性与电子转移速率共同影响,通过优化催化界面结构提升反应链启动速率,使大分子有机物逐级裂解为低分子中间产物。反应体系中氧化还原电位控制用于维持高活性反应区间,避免自由基过度猝灭导致氧化效率下降^[3]。水力条件优化使污染物在反应区内保持均匀分布,提高传质效率与碰撞概率。氧化过程与预混阶段形成耦合效应,使部分难降解结构在进入深度处理前已完成部分开环断链。通过调控反应停留时间与氧化剂投加强度,实现氧化强度与能耗之间的动态平衡,使体系具备连续稳定的高效降解能力。

3.3 水解酸化协同反应路径构建

水解酸化单元作为结构断裂与可生化性提升关键环节,通过厌氧微生物群落代谢作用实现大分子有机物向小分子有机酸转化。反应路径设计强调水解阶段与产酸阶段的协同推进,使复杂氯代有机物在酶促作用下逐步断裂为可利用碳源。微生物群落结构调控通过优化厌氧环境稳定性提升功能菌群富集效率,增强对复杂底物的适应能力。水解阶段强化胞外酶分泌

活性,使高分子有机物发生链段断裂并降低分子量分布宽度,酸化阶段则通过挥发性脂肪酸积累提升体系可降解性。反应器内部流态优化减少局部死区,提高底物与微生物接触效率。水力停留时间与污泥龄的协同控制使系统具备较强缓冲能力,在进水波动条件下仍保持代谢稳定性。

4 工艺运行控制及稳定性调节策略

4.1 pH及药剂投加精细化控制

pH调控作为混凝、氧化及水解酸化多单元协同运行的基础控制参数,对反应路径与污染物转化效率具有关键影响。针对2,4-滴废水体系中氯代有机物水解稳定性较高的特征,通过构建分段pH调节区间,使不同处理单元维持最优反应环境。混凝阶段通过控制弱酸至中性区间促进金属盐水解产物形成,提高电中和与吸附架桥效率;氧化阶段通过维持适度酸性或中性环境增强自由基生成稳定性,避免副反应消耗;水解酸化阶段则通过弱酸性环境促进产酸菌群代谢活性提升。药剂投加控制采用动态反馈调节模式,结合进水COD波动与电导率变化调整投加强度,使混凝剂与氧化剂形成精准匹配关系。投加过程强化瞬时混合与扩散效率,减少局部过量或不足现象,避免二次污染物生成。多参数联动控制机制使化学反应环境与微生物代谢环境保持稳定耦合状态,提升整体系统运行一致性。

4.2 水力停留时间优化配置方案

水力停留时间作为影响污染物降解深度与反应充分性的关键运行参数,通过分级配置实现不同处理单元功能最优化。混凝单元通过缩短快速反应阶段停留时间,提高药剂扩散效率并减少颗粒再稳定风险;絮凝沉降阶段适当延长停留时间以增强絮体生长与沉降完整性^[4]。氧化单元通过设定中等停留时间窗口,使自由基反应链能够充分完成对大分子有机物的断裂与开环过程,同时避免过度停留导致氧化剂浪费。水解酸化单元则通过延长整体停留时间强化微生物对复杂有机物的逐步降解能力,提高挥发性脂肪酸累积效率。各单元之间通过流量分配与缓冲池调节实现时间梯度衔接,使污染物在不同反应阶段实现连续转化。

4.3 抗冲击负荷运行调节机制

抗冲击负荷调节机制通过多级缓冲与动态响应结构构建,使系统能够适应2,4-滴废水进水浓度及组分的周期性波动。调节核心在于构建物理缓冲单元与化学-生物协同调节路径,当高浓度废水进入时,通过调节池实现瞬时削峰,降低瞬时有机负荷对后续单元的冲击强度。混凝与氧化单元通过药剂投加动态提升机制增强污染物初期削减能力,减少难降解组分直接进入生化系统比例。水解酸化单元通过功能菌群弹性调节能力实现代谢路径重构,使系统在负荷变化条件下保持产酸与水解过程连续性。运行控制中引入负荷识别与响应延迟补偿机制,通过监测COD、电导率及氧化还原电位变化,实现提前调节反应

强度。污泥回流与污泥龄调控进一步增强系统适应能力,使生物相结构在冲击条件下保持稳定。

5 处理效果评估及工程应用表现

5.1 COD 及特征污染物去除表现

组合预处理工艺对 COD 削减表现出多阶段协同去除特征,混凝阶段实现胶体态与部分疏水性有机物的快速分离,显著降低初始负荷;强化氧化阶段通过自由基反应对氯代芳香结构进行开环断链,使大分子有机物转化为低分子中间产物,提升整体可降解性;水解酸化阶段进一步将残余有机物转化为挥发性脂肪酸,实现深度结构削减。特征污染物在不同反应路径中呈梯度递减趋势,含氯官能团逐步脱离分子骨架并转化为低毒形态物质。多单元协同作用下污染物去除不再依赖单一物理或化学机制,而是通过吸附、氧化与生化转化的叠加效应完成系统性削减,使出水有机负荷显著降低。

5.2 出水稳定性及波动控制分析

出水水质稳定性受进水负荷波动影响显著降低,通过优化运行控制后呈现明显缓冲与均化特征。调节池与分级处理结构共同削弱瞬时高浓度冲击对系统的影响,使 COD 与浊度变化幅度明显收窄^[5]。混凝与氧化单元的动态响应能力增强,使污染物在进入生化阶段前完成预处理削峰处理,降低后端负担。

水解酸化单元通过稳定代谢路径维持有机物转化连续性,减少周期性波动对出水质量的影响。多参数联动控制体系使 pH、电导率及氧化还原电位保持在相对稳定区间,减少反应环境剧烈变化带来的不确定性,使整体出水表现出更强的一致性与可控性。

5.3 工程运行适配性综合评价

工程应用表现体现出较强的工艺适配能力与结构兼容性,多单元组合体系能够覆盖不同浓度与复杂组分废水处理需求。预处理单元之间形成梯级负荷衔接结构,使污染物逐级转化路径清晰且稳定,有效降低系统整体运行风险。运行控制策略具备较高灵活性,可根据进水水质变化进行参数动态调整,增强系统对不同工况的适应能力。设备运行稳定性与维护周期优化程度较高,减少非计划停机概率,提高连续运行能力。整体工艺在负荷变化条件下仍能维持较高污染削减效率与结构稳定性,表现出良好的工程推广潜力与长期运行适应特征。

6 结语

2,4-滴生产废水预处理工艺在多单元协同调控下实现污染物梯级削减, COD 去除效率与特征污染物降解能力同步提升,出水波动幅度显著收敛,整体运行稳定性增强,工程适配性与连续运行能力表现突出,为高浓度有机废水处理提供稳定工艺支撑。

参考文献:

- [1] 张华,李浩楷.除草剂 2,4-滴异辛酯的工艺改进[J].山东化工,2025,54(9):77-81.
- [2] 韦翔,薛天利,陆柳鲜,秦栖,韦崇高,涂方祥.化学预处理工艺在高浓度白酒废水中的应用[J].广东化工,2025,52(16):89-91.
- [3] 牛树君,王玉灵,赵峰,余海涛,张新瑞,胡冠芳.氨基吡啶酸、二氯吡啶酸和 2,4-滴二甲胺盐在天然草原土壤和牧草中的消解动态[J].植物保护,2025,51(2):141-146.
- [4] 王军华,李祥金,侯晓培,张吉晔,马彩凤.一硝基甲苯生产废水预处理工艺的优化[J].化工管理,2022(34):87-91.
- [5] 王昶,邵维敏,郝林林,邱炜,周青云.有毒、生化难的阻燃剂四溴双酚 A 生产废水优化处理的研究[J].水处理技术,2023,49(4):27-31+37.