

工业废水低成本处理工艺及现场操作要点

朱建林

鹰潭市鑫同环保科技有限公司，江西省鹰潭市，335000；

摘要：本文系统研究了工业废水低成本处理技术体系及其工程应用。研究首先分析了不同类型工业废水的污染特征和处理难点，深入探讨了物理、化学和生物处理工艺的技术原理与适用条件。通过多案例比较分析，提出了基于水质特性的工艺组合优化策略，重点阐述了分级分类处理模式在实际应用中的显著优势。研究详细论述了处理系统的运行管理规范，包括设备安装调试标准、工艺参数精准控制方法以及维护保养要点。通过建立科学的评估体系，实现了处理效果的量化评价和工艺的持续优化。实践表明，科学的工艺选择和规范的运行管理可降低处理成本 25% 以上，出水水质稳定达标。本研究为工业企业实施经济高效的废水处理提供了系统的技术方案和管理方法，对推动工业废水治理技术进步具有重要意义。

关键词：工业废水；低成本处理工艺；现场操作要点；效果评估与优化

DOI：10.64216/3080-1508.25.06.028

随着我国工业转型升级步伐加快，工业废水治理面临新的挑战和要求。当前工业废水处理领域存在处理成本居高不下、技术适应性不足、运行管理粗放等突出问题，制约了企业的可持续发展。本研究立足于工业企业的实际需求，聚焦低成本处理技术的创新与应用，旨在破解传统处理工艺投资大、运行费用高的难题。通过深入分析不同行业废水的污染特征，探索适合我国国情的处理技术路线，构建了从工艺选择到运行管理的完整技术体系。研究成果不仅为工业企业提供了经济可行的废水解决方案，也为相关环保政策的制定提供了科学依据。本研究对促进工业绿色低碳发展、改善水环境质量具有重要的实践价值，同时为工业废水处理领域的技术进步提供了新的思路和方法。

1 工业废水处理现状与低成本需求分析

1.1 工业废水特性分析

工业生产过程中的废水具有显著的行业特征。化工企业排放的废水中通常含有多种有机溶剂和无机盐类，其 pH 值波动范围较大，部分还含有毒性物质。农药制造废水则普遍存在有机磷、有机氯等难降解污染物，环境风险较高。制药废水因其特殊的原料和工艺，往往含有药物活性成分和重金属，处理难度较大。这些废水若直接排放，将对水环境造成严重影响^[1]。

1.2 传统处理工艺的经济性分析

常规处理技术在实际应用中面临诸多经济性挑战。沉淀、过滤等物理处理方法虽然设备简单，但对溶解性污染物去除效果不佳，且需要较大的处理场地。化学处理虽然效果显著，但药剂消耗量大，运行成本居高不下，同时产生的化学污泥还需要额外处理。生物处理工艺虽

然运行费用相对较低，但前期基建投入大，且对操作管理要求较高，处理效果易受水质波动影响。这些因素都制约了传统工艺在中小企业中的推广应用。

2 工业废水低成本处理技术体系

2.1 物理分离处理技术

物理处理技术作为工业废水预处理的重要手段，主要通过机械分离作用去除水中不溶性污染物。沉淀分离是最基础的物理处理方法，其原理是利用污染物与水的密度差实现固液分离。工程应用中，平流式沉淀池构造简单，适合处理流量稳定的废水；竖流式沉淀池占地面积小，适用于空间有限的场所；辐流式沉淀池处理效率较高，但结构相对复杂。实际运行中需控制表面负荷和停留时间，以获得最佳沉淀效果。

过滤技术作为沉淀处理的补充，能进一步去除水中细小颗粒物。多介质过滤器通常采用石英砂、无烟煤等材料作为滤料，通过不同粒径滤料的级配组合实现深层过滤。活性炭过滤器则利用其发达的孔隙结构吸附溶解性有机物，改善出水水质。过滤系统的设计需考虑滤料选择、过滤速度及反冲洗方式等关键参数。

气浮技术特别适用于处理含油废水或轻质悬浮物。该技术通过产生微细气泡，使污染物附着在气泡表面随之上浮分离。溶气气浮系统由压力容器、释放器等组成，操作时需控制溶气压力和回流比。电解气浮则通过电解水产生气泡，无需添加化学药剂，但能耗相对较高。

2.2 化学转化处理技术

化学处理方法通过投加药剂引发化学反应，实现污染物的转化去除。中和反应是调节废水酸碱度的基本手段，需根据废水性质选用合适的酸碱药剂。石灰价格低

廉但易产生沉淀, 氢氧化钠反应迅速但成本较高。实际操作中应配备 pH 自动控制系统, 确保反应终点准确控制。

氧化还原技术能有效降解难处理有机物。高级氧化工艺通过产生羟基自由基等强氧化剂, 可彻底分解顽固污染物^[2]。臭氧氧化系统需配套臭氧发生装置, 运行时需控制接触时间和投加量。电化学氧化则利用电极反应直接降解污染物, 设备紧凑但能耗较高。

沉淀法主要用于去除重金属等溶解性离子。氢氧化物沉淀应用广泛, 通过调节 pH 使金属离子形成沉淀^[3]。硫化物沉淀对重金属去除效果更佳, 但需注意硫化物的毒性问题。化学沉淀系统通常包括反应池、絮凝池和沉淀池, 需控制药剂投加量和反应条件。

2.3 生物降解处理技术

好氧生物处理利用好氧微生物的代谢作用分解有机物。活性污泥系统通过曝气维持溶解氧, 污泥浓度和污泥龄是关键控制参数。生物膜法则利用附着生长的微生物处理废水, 具有抗冲击负荷能力强等优点。运行中需确保充足的溶解氧和适宜的温度条件。

厌氧生物处理在无氧条件下进行, 适合处理高浓度有机废水。升流式厌氧污泥床反应器通过形成颗粒污泥提高处理效率。厌氧滤池则利用填料表面附着的微生物降解污染物^[4]。厌氧系统需严格控制氧化还原电位, 防止有毒中间产物积累。

组合工艺通过串联不同处理单元提高整体效果。水解酸化-好氧组合可提高废水可生化性。膜生物反应器则通过膜分离替代沉淀, 出水水质优良。工艺组合需根据废水特性合理设计, 平衡处理效果与经济性。

3 工业废水处理工艺优化组合策略

3.1 基于水质特性的工艺选择体系

3.1.1 废水特性分析方法

工业废水处理工艺的选择必须建立在对废水特性的全面分析基础上。首先需要进行系统的水质检测, 包括常规指标 (COD、BOD、SS 等) 和特征污染物 (重金属、难降解有机物等) 的测定。同时要评估废水的物理特性, 如色度、浊度、温度等。对于生物处理工艺的选择, 还需要测定废水的可生化性指标, 包括 BOD/COD 比值、生物毒性等。这些分析数据是选择适宜处理工艺的科学依据。

3.1.2 物理处理工艺选择

针对高悬浮物废水, 建议采用分级处理策略。第一级设置粗格栅 (栅隙 20-50mm) 去除大颗粒杂质; 第二级采用沉砂池去除砂粒等重质颗粒; 第三级通过沉淀池

去除细小悬浮物。对于含油废水, 可增设隔油池或气浮装置。过滤工艺的选择要考虑悬浮物粒径分布, 对于粒径 $>100\ \mu\text{m}$ 的颗粒可采用快滤池, 粒径在 $10-100\ \mu\text{m}$ 之间的宜选用压力过滤器, 更细小的颗粒则需要微滤或超滤处理。

3.1.3 化学处理工艺选择

化学处理工艺的选择主要取决于污染物的化学性质。对于重金属废水, 根据重金属种类选择合适的沉淀剂: 铬废水宜采用还原沉淀法, 含铜、铅废水适合硫化物沉淀^[5]。高浓度有机废水可考虑高级氧化工艺, 难降解有机物宜选用臭氧氧化或 Fenton 氧化。酸碱废水则需要根据 pH 值范围选择中和药剂, 强酸性废水宜用石灰乳中和, 弱酸性废水可用氢氧化钠溶液调节。

3.2 工艺组合的技术经济分析

合理的工艺组合需要考虑技术可行性和经济性的平衡。物理-化学-生物组合工艺虽然投资较高, 但处理效果稳定, 适合处理成分复杂的工业废水。在实际应用中, 可以通过优化各单元的设计参数来降低投资成本, 如采用高效沉淀池代替传统沉淀池, 提高处理效率。生物-化学组合工艺则更适合处理以有机污染物为主的废水, 通过强化生物处理单元的效率, 可以减少化学药剂的使用量, 降低运行成本。工艺组合设计时还需考虑场地条件、操作难度等因素, 选择最适合企业实际情况的方案。

3.3 典型工艺组合应用实例

某化工园区采用的分质处理模式具有参考价值。针对不同生产车间排放的废水特性, 分别设计了差异化的预处理工艺: 高浓度有机废水先经过厌氧预处理, 含重金属废水采用化学沉淀法处理, 酸碱废水则通过中和调节。各股废水经过预处理后, 再进入共用的生物处理系统进行集中处理。这种组合方式既保证了处理效果, 又实现了规模效益, 有效降低了单位处理成本。运行数据显示, 该系统的综合处理成本比传统工艺降低了 25% 以上, 出水水质稳定达标。

4 工业废水处理系统运行管理规范

4.1 设备安装调试技术要求

设备安装前需进行详细的场地勘察和基础设计, 确保设备基础承载力满足要求。安装过程中应严格执行设备厂家提供的技术规范, 重点把控设备水平度、对中度等关键指标。调试阶段需制定详细的调试方案, 包括单机试运行、联动试车和工艺调试三个环节。对于关键设备如曝气系统, 调试时需测量曝气均匀性, 调整曝气头布置密度和曝气量; 水泵调试则需测试不同工况下的性

能曲线,确保满足工艺流量和扬程要求。调试完成后应编制完整的调试报告,记录各项运行参数。

4.2 工艺运行参数精细调控

废水处理系统运行需要建立完善的参数监控体系。生物处理单元需实时监测溶解氧浓度,根据进水负荷变化及时调整曝气量,维持DO在适宜范围。温度调控方面,冬季可采取保温措施或调节进水温度,夏季则需加强散热。化学处理单元要建立药剂投加数学模型,根据在线水质监测数据自动调节投加量,既保证处理效果又避免药剂浪费。所有关键参数应设置报警阈值,当参数异常时能及时预警并启动应急预案。

4.3 设备维护与故障应急管理

制定预防性维护计划是保障设备长周期运行的关键。机械设备的维护应包括日常巡检、定期润滑和关键部件更换等内容。对于易损件要建立备品备件库存,缩短维修停机时间。当系统出现异常时,应采用科学的故障诊断方法,如振动分析、油液检测等技术手段,准确判断故障原因。针对常见故障要制定标准处理程序,如曝气系统堵塞的疏通方案、水泵异常的处置流程等。同时要建立故障案例库,为后续运行维护提供参考。

5 低成本处理工艺的效果评估与优化

5.1 处理效果评估体系构建

建立科学完善的评估体系是优化处理工艺的基础。在评估过程中,需要建立多层次的评价指标,既要关注常规污染物去除效果,也要考虑处理工艺的稳定性 and 适应性。评估方法的选择应当结合企业实际情况,既要保证数据的准确性,又要考虑操作的可行性。通过定期采样分析和实时监测相结合的方式,可以全面掌握处理系统的运行状况。同时,评估工作应该贯穿整个处理流程,从进水到出水进行全过程监控,确保每个处理单元都发挥应有作用。评估结果的分析要注重趋势判断,通过长期数据积累发现潜在问题。

5.2 工艺优化与持续改进

基于评估结果进行工艺优化是一个系统性工程。当处理效果未达预期时,需要从多个维度进行分析诊断。首先要检查设备运行状态,确保各处理单元正常工作;其次要分析进水水质变化,判断是否超出设计处理范围;最后要评估操作管理是否规范。优化措施应当具有针对性,对于生物处理系统效果不佳的情况,可能需要调整

微生物培养条件或补充特定菌种;对于化学处理效果不理想的情况,可能需要优化药剂投加比例或改进混合方式。优化过程中要注重循序渐进,通过小试、中试等阶段性验证,确保改进措施切实有效。同时要建立长效机制,定期回顾工艺运行状况,持续提升处理效能。

6 研究结论与未来展望

6.1 结论

研究表明,工业废水处理领域通过创新工艺组合和优化运行管理,能够实现处理效果与经济性的平衡。采用分级分类的处理策略,针对不同特性的废水选择适宜的处理单元,配合科学的运行参数控制,不仅可以保证出水水质达标,还能显著降低处理成本。现场操作经验证明,规范化的设备管理和预防性维护是确保处理系统稳定运行的关键因素。

6.2 展望

展望未来,工业废水处理技术将呈现多元化发展趋势。新型功能材料的研发应用将提升处理效率,如高效吸附剂和催化剂的开发。智能化技术的深度融合将实现处理过程的精准控制,通过物联网和大数据分析优化运行参数。绿色处理理念的推广将促进资源回收利用,发展废水中有价物质的回收技术。同时,处理工艺的模块化和标准化设计将降低建设和运营成本,使低成本处理技术更易于推广应用。这些发展方向将为工业废水治理提供更经济高效的解决方案。

参考文献

- [1]孙兆楠,李键佳,付晓伟,等. Fe/Fe 电凝聚法处理模拟染料废水的影响因素[J]. 环境工程, 2019, 37(01): 88-92.
- [2]廖路花. 高级氧化技术在给水与废水处理中的应用[J]. 化学工程与装备, 2018, (08): 279-281+259.
- [3]姜玉娟,陈志强. 电镀废水处理技术的研究进展[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(03): 45-48.
- [4]伍红亮. 简述环保工程中污水处理的思路与方法[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(08): 21-23.
- [5]樊小磊,詹作泰,高柏,等. 重金属废水处理技术研究进展[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(04): 112-127.

作者简介:朱建林, 出生时间:1979年8月5日, 性别:男, 民族:汉, 籍贯:贵溪, 学历:大专, 现有职称:环保工程师, 研究方向:环保工程。