

工业废水深度处理及回用工艺优化与应用

徐渊, 杭一欣, 倪赞凯

苏州新许人力资源有限公司, 江苏苏州

摘要: 随着工业的快速发展, 工业废水排放量日益增加, 对环境和水资源造成了严重压力。为应对这一挑战, 工业废水深度处理及回用工艺的优化与应用显得尤为重要。本文旨在探讨工业废水深度处理的必要性, 分析工业废水的来源与特性, 介绍深度处理技术的原理与分类, 并提出工艺优化策略与方法。通过优化工艺流程、操作参数、设备选型以及实现废水处理系统的智能化管理, 推动废水回用技术的集成与创新, 以实现工业废水的有效处理和资源化利用, 促进工业与环境的和谐发展。

关键词: 工业废水; 深度处理; 回用工艺; 优化策略; 资源化利用

Optimization and Application of Advanced Treatment and Reuse Technology for Industrial Wastewater

Yuan Xu, Yixin Hang, Yunkai Ni

Suzhou Xinhua Human Resources Co., LTD., Suzhou, Jiangsu

Abstract: With the rapid development of industry, the discharge of industrial wastewater has been increasing significantly, exerting severe pressure on the environment and water resources. To address this challenge, optimizing and applying advanced treatment and reuse technologies for industrial wastewater has become crucial. This paper aims to explore the necessity of advanced wastewater treatment, analyze the sources and characteristics of industrial wastewater, introduce the principles and classifications of advanced treatment technologies, and propose optimization strategies and methods. By optimizing process flows, operational parameters, equipment selection, and implementing intelligent management of wastewater treatment systems, we promote the integration and innovation of wastewater reuse technologies. This approach facilitates effective treatment and resource utilization of industrial wastewater, fostering harmonious development between industry and the environment.

Keywords: Industrial wastewater; Deep treatment; Reuse process; Optimization strategy; Resource utilization

1 工业废水深度处理的必要性

1.1 废水处理的环境法规与标准

在工业废水深度处理与回用技术的创新与实践领域，废水处理的环境法规与标准起着至关重要的引领与规范作用。随着工业的迅猛发展，工业废水排放量与日俱增，给生态环境带来了巨大压力，因此严格的环境法规与标准成为保障环境质量的關鍵。

这些法规与标准不仅明确了工业废水排放的限值，还规定了废水处理的技术要求与监测方法。它们促使企业加大废水处理投入，采用更先进的处理工艺和设备，以实现达标排放。同时，也为监管部门提供了有力的执法依据，确保工业废水得到有效管控，防止其对水体、土壤等环境要素造成污染。

1.2 工业发展对水资源的需求与挑战

工业的快速发展使得生产规模不断扩大，对水资源的需求呈现出持续增长的态势。一方面，众多工业生产环节，如化工、造纸、纺织等，都需要大量的水作为原料、溶剂或冷却介质，这直接导致工业用水量急剧攀升。另一方面，工业发展也给水资源带来了严峻挑战。大量工业废水的排放，其中含有各种重金属、有机物、酸碱等污染物，若未经有效处理直接排入水体，会严重破坏水生态系统的平衡，导致水质恶化，可利用水资源减少。而且，随着水资源短缺问题的日益突出，工业用水与农业、生活用水的竞争也愈发激烈，进一步加剧了水资源的供需矛盾。同时，不合理的工业布局和水资源利用方式，还造成了部分地区水资源的过度开采，引发了地面沉降、海水入侵等一系列地质和环境问题。

2 工业废水的来源与特性分析

2.1 主要工业废水的来源分类

按行业类型划分，化工行业废水来源广泛，在原料生产、化学反应、产品提纯等环节都会产生大量废水，其中含有各类有机物、无机物及重金属等有害物质；造纸行业废水主要来自制浆、漂白和抄

纸等过程，含有大量木质素、纤维素及化学药剂；纺织印染行业废水产生于退浆、煮练、漂白、染色和印花等工序，具有水量大、有机污染物含量高、色度深等特点；食品行业废水源于原料清洗、加工、发酵等环节，通常含有大量的有机物、悬浮物和油脂等；冶金行业废水包括采矿废水、选矿废水和冶炼废水等，含有重金属离子、酸碱及悬浮物等污染物；电力行业废水主要来自锅炉补给水处理、冷却水排放等，含有一定的盐分和悬浮物。

2.2 不同工业废水的化学与物理特性

化工行业废水化学特性复杂，pH值波动范围大，可能呈强酸性或强碱性，且含有大量难以降解的有机物，如酚类、芳香烃类等，部分废水还含有汞、镉、铅等重金属离子；物理特性方面，废水往往黏度较大，色度深，且含有大量悬浮物。造纸行业废水化学特性表现为含有大量耗氧有机物，化学需氧量（COD）和生化需氧量（BOD）较高，同时含有漂白过程中产生的氯化物等有害物质；物理特性上，废水呈黑色或深褐色，悬浮物含量极高，且具有一定的黏性[1]。纺织印染行业废水化学特性为含有多种染料、助剂和表面活性剂等，化学性质稳定，难以生物降解，且含有一定量的重金属离子；物理特性方面，废水色度极高，通常可达数千至数万倍，且含有大量细小纤维和杂质。食品行业废水化学特性为有机物含量高，易腐败变质，含有大量的蛋白质、脂肪和碳水化合物等；物理特性上，废水浊度大，含有大量悬浮物和油脂，且温度较高。冶金行业废水化学特性为含有多种重金属离子，如铜、锌、镍等，以及酸碱污染物，化学性质较为稳定；物理特性方面，废水悬浮物含量高，且部分废水含有放射性物质。电力行业废水化学特性为含有一定的盐分，如氯化钠、硫酸钠等，以及少量的重金属离子；物理特性上，废水浊度较低，但含有一定量的悬浮物和胶体物质。

3 深度处理技术的原理与分类

3.1 物理法深度处理技术

在工业废水深度处理与回用技术的创新与实

践中, 物理法深度处理技术占据着重要地位。随着工业的快速发展, 工业废水排放量日益增加, 对环境造成了严重威胁, 同时也加剧了水资源的紧张局势。在此背景下, 物理法深度处理技术凭借其独特的优势, 成为解决工业废水问题的关键手段之一。

物理法深度处理技术主要是利用物理作用分离废水中的悬浮物质、胶体物质等, 其常见的方法包括沉淀、过滤、气浮、膜分离等。以沉淀法为例, 它是通过重力作用使废水中的悬浮颗粒沉淀下来, 从而达到分离的目的。过滤法则是利用多孔介质截留废水中的悬浮物和胶体, 使水得到净化。气浮法是通过向废水中通入空气, 产生微小气泡, 使废水中的细小悬浮物粘附在气泡上并随之上浮至水面, 从而实现固液分离[2]。膜分离技术利用具有选择透过性的半透膜, 将废水中的溶质与溶剂分离, 根据膜孔径大小的不同, 可分为微滤、超滤、纳滤和反渗透等。这些物理法深度处理技术各有特点, 适用于不同类型的工业废水处理, 在实际应用中可根据废水的具体特性和处理要求进行选择和组合。

3.2 化学法深度处理技术

化学法深度处理技术主要是通过化学反应来去除工业废水中的污染物。它包括多种具体的方法, 如氧化还原法、混凝沉淀法、中和法等。氧化还原法是利用氧化剂或还原剂将废水中的污染物氧化或还原成无害或易于分离的物质, 从而达到净化废水的目的。混凝沉淀法则是通过向废水中投加混凝剂, 使废水中的胶体物质和细微悬浮物凝聚成较大颗粒而沉淀下来, 实现固液分离[3]。中和法主要用于处理酸性或碱性废水, 通过投加酸或碱来调节废水的pH值, 使其达到中性或接近中性的范围, 以减少废水对环境的危害。这些化学法深度处理技术能够有效地去除废水中的各种污染物, 提高废水的处理效果, 在实际应用中具有广泛的应用前景。

3.3 生物法深度处理技术

生物法深度处理技术主要是利用微生物的代谢作用, 将废水中的有机污染物分解转化为无害

物质。根据微生物的代谢类型, 可分为好氧生物处理、厌氧生物处理和兼氧生物处理等。好氧生物处理是在有氧条件下, 利用好氧微生物将废水中的有机物分解为二氧化碳和水等无害物质, 常见的有活性污泥法、生物膜法等。活性污泥法通过向废水中通入空气, 使活性污泥中的微生物大量繁殖, 吸附和降解废水中的有机物[4]。生物膜法则是让废水通过生长有生物膜的填料, 生物膜上的微生物对废水中的有机物进行分解。厌氧生物处理是在无氧条件下, 利用厌氧微生物将废水中的有机物分解为甲烷、二氧化碳等物质, 常见的有厌氧消化法等, 该方法不仅能处理有机物, 还能产生可利用的沼气。兼氧生物处理则是在兼氧环境下, 微生物同时进行好氧和厌氧代谢, 对废水中的有机物进行处理, 其适应范围较广, 能处理不同特性的工业废水。这些生物法深度处理技术具有处理效果好、运行成本相对较低等优点, 在工业废水深度处理中发挥着重要作用。

4 工艺优化策略与方法

4.1 工艺流程的优化设计

首先要对现有的工业废水深度处理工艺流程进行全面细致的评估, 明确各环节的处理效果、能耗、成本等关键指标。依据废水的水质特性、处理目标以及回用要求, 对工艺流程进行合理简化或整合, 去除不必要的处理环节, 提高整体处理效率。例如, 对于某些水质相对较好的工业废水, 可适当减少化学处理药剂的投加量或省略部分化学处理单元[5]。同时, 结合先进的处理技术和设备, 对工艺流程进行创新设计, 引入新型的生物处理反应器、高效的膜分离装置等, 以提升处理效果和稳定性。此外, 还需考虑工艺流程的灵活性和可扩展性, 以便能够根据实际生产情况和废水水质的波动进行及时调整和优化。

4.2 操作参数的优化与控制

操作参数的优化与控制是提升工业废水深度处理效果的关键环节。在实际运行过程中, 需根据废水水质变化和处理目标, 动态调整关键操作参

数，如pH值、温度、溶解氧浓度、反应时间等。通过实验研究和现场监测，确定各参数的最佳控制范围，并建立参数与处理效果之间的量化关系模型。例如，在生物处理单元中，可通过调节溶解氧浓度和污泥龄，优化微生物群落结构，提高有机物降解效率和氮磷去除率[6]。同时，采用先进的在线监测技术和自动控制系统，实现对操作参数的实时采集和精准调控，确保处理过程稳定高效运行。此外，还需定期对操作参数进行优化校准，以适应废水水质季节性变化和生产工艺调整带来的影响。

在操作参数的优化与控制过程中，还应注重参数间的协同作用。不同操作参数之间往往存在相互影响和制约的关系，单一参数的优化可能无法达到最佳处理效果。因此，需要综合考虑各参数之间的相互作用，通过多参数协同优化，实现处理效果的最大化。例如，在化学氧化处理单元中，pH值和氧化剂投加量共同影响氧化反应的速率和选择性，需通过实验确定两者的最佳组合，以提高对难降解有机物的去除效果。此外，操作参数的优化与控制还应与工艺流程的优化设计相结合，形成整体优化的废水处理方案。

4.3 设备选型的优化与升级

设备选型的优化与升级对于提升工业废水深度处理效率与稳定性至关重要。在选择处理设备时，需综合考虑废水特性、处理规模、运行成本及维护便捷性等多方面因素。针对高浓度有机废水，可选用高效生物反应器，如膜生物反应器（MBR），其结合了生物降解与膜分离技术，能有效提高有机物去除率并降低污泥产量。对于含重金属或难降解有机物的废水，则需采用高级氧化设备，如臭氧氧化装置或芬顿反应器，以实现废水的深度净化。同时，随着技术的不断进步，新型节能设备如低能耗曝气系统、智能加药装置等的应用，也能显著降低处理过程中的能耗与药耗。此外，设备的升级换代还需关注其自动化与智能化水平，通过引入物联网、大数据等先进技术，实现设备的远程监控与智能调控，进一步提升废水处理系统的运行效率与管

理水平。

4.4 废水处理系统的智能化管理

通过安装智能传感器与在线监测设备，实现对废水处理过程中关键参数如pH值、溶解氧、浊度、化学需氧量等的实时采集与传输。利用大数据分析技术，对这些数据进行深度挖掘与分析，及时发现处理过程中的异常情况并预警，为操作人员提供科学合理的决策支持。同时，借助物联网技术，实现设备的远程监控与智能调控，操作人员可在中控室或通过移动终端对设备进行远程启停、参数调整等操作，大大提高了废水处理系统的运行效率与管理水平。此外，智能化管理系统还具备故障诊断与自修复功能，能够自动识别设备故障并采取相应的修复措施，减少停机时间，降低维护成本。

4.5 废水回用技术的集成与创新

废水回用技术的集成与创新，关键在于将多种处理技术进行有机结合，形成一套高效、稳定且经济的回用处理体系。例如，可以将膜分离技术与高级氧化技术相结合，利用膜分离技术去除废水中的大分子有机物和悬浮物，再通过高级氧化技术进一步降解难降解的有机物，提高回用水的质量。同时，积极探索新的回用技术，如人工湿地回用技术、电化学回用技术等，这些新技术具有能耗低、操作简便、环境友好等优点，为废水回用提供了更多的选择。此外，还应加强废水回用技术的标准化建设，制定统一的回用水质标准和回用工艺规范，推动废水回用技术的广泛应用和持续发展。

5 结语

工业废水深度处理及回用工艺的优化与应用，是应对当前水资源短缺与环境污染问题的关键举措。通过深度处理技术的合理选择与工艺流程的优化设计，结合智能化管理系统的应用与废水回用技术的集成创新，不仅能够显著提升工业废水的处理效率与回用质量，还能有效降低企业的运行成本与环境风险。未来，随着科技的不断进步与环保要求

的日益严格，工业废水处理领域将迎来更多的发展机遇与挑战，需要持续探索新技术、新方法，推动工业废水处理及回用工艺向更加高效、绿色、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1]宋姣. 污水深度处理技术在工业废水处理中的应用[J].清洗世界, 2024(11): 86-88.
- [2]李鸿程. 工业废水深度处理及资源化利用技术分析[J].皮革制作与环保科技, 2023(10): 9-11.
- [3]涂德贵. 工业废水深度处理新工艺的研究与应用[J].河南科技, 2022(09): 127-130.
- [4]周舜, 陆宜杰,胡曼曼. 工业有机废水深度处理系统技术研究[J]. 节能与环保, 2022(08): 73-74.
- [5]杭利斌. 工业有机废水深度处理技术研究[J].化工设计通讯, 2023(12): 191-193+207.
- [6]傅利, 郝家福, 安莹, 等. 工业园区废水深度处理技术研究现状[J]. 工业水处理, 2021(06): 149-155.

