

Research on Key Technologies for Reducing Chemical Wastewater Discharge and Enhancing Efficiency

Daozhong Du Xiangpei Zhang Longhui Sun Minzhi Lian Heshuai Lian

Hebi Coal Chemical Industry Co., Ltd., Hebi, Henan, 458000, China

Abstract

Amidst the green transformation of the chemical industry, achieving emission reduction and efficiency enhancement in wastewater treatment is a critical yet challenging task, given the complex composition of such effluents and the limitations of conventional technologies. This paper systematically reviews the research background and industry demands, delving into the key technological systems of source control, process intensification, and end-of-pipe reuse, along with their development mechanisms. It further analyzes the integration pathways and optimization strategies for engineering applications. The feasibility of this integrated technological approach is empirically demonstrated through a comprehensive case study of the Hebi coal chemical wastewater system. This research aims to provide a reference with both theoretical depth and practical value, supporting the industry in achieving the coordinated development of multiple objectives: quality improvement, emission reduction, consumption lowering, and economic benefit enhancement in wastewater treatment.

Keywords

Chemical Wastewater; Emission Reduction and Efficiency Improvement; Key Technologies; Green Transformation; Governance Optimization

化工污水减排增效关键技术与工程实践

杜道忠 张向沛 孙龙会 连民智 连贺帅

鹤壁煤化工有限公司, 中国·河南 鹤壁 458000

摘要

随着化工行业高质量发展推进与环保法规日趋严格, 化工污水减排增效已成为行业绿色转型的核心任务。针对化工污水成分复杂、处理难度大, 传统技术难以兼顾环境效益与经济效益的挑战, 本文系统梳理了减排增效的研究背景与行业需求, 深入探讨了涵盖源头控制、过程强化及末端回用的关键技术体系及其研发机理。研究进一步分析了上述技术在工程化应用中的整合路径与优化策略, 并通过对鹤壁煤化污水系统综合治理案例的剖析, 实证了关键技术集成应用的可行性。本研究旨在为化工行业实现污水治理的提质、减排、降耗与效益提升等多目标协同发展, 提供兼具理论深度与实践价值的参考。

关键词

化工污水; 减排增效; 关键技术; 清洁生产; 水资源回用; 案例研究

1 引言

化工行业作为国民经济的重要支柱, 其生产过程伴生的污水通常含有高浓度、难降解的有毒污染物, 对生态环境与公众健康构成严重威胁。在生态文明建设与双碳战略目标背景下, 国家环保标准持续提升, 倒逼化工企业进行污水治理工艺的绿色升级。因此, 推进污水减排增效不仅是企业履行环境责任的基本要求, 更是其实现可持续发展的必然选择。当前, 许多化工企业仍依赖传统污水处理技术, 普遍存在处理效率低、运行能耗高、资源回收率低和二次污染风险等问题, 难以适应新的发展形势^[1]。为此, 本文立足于化工

行业绿色转型的内在需求, 系统研究减排增效的关键技术体系、应用路径, 并结合典型工程案例进行验证, 以为行业提供从理论到实践的完整解决方案参考。

2 化工污水减排增效的技术基础与行业需求

2.1 化工污水特征与减排诉求

化工污水来源广泛, 其显著特征表现为污染物种类繁多、浓度波动性大、生物毒性强且可生化性差, 特别是所含的重金属、卤代烃、芳香族化合物等, 易在环境中累积并产生持久性危害。这种复杂性决定了单一的末端治理模式成本高昂且效果有限。因此, 当代化工污水治理的核心诉求已从单纯的达标排放, 转向通过系统性的技术创新与工艺优化, 在源头最大限度减少污染物产生, 在过程显著提升处理效率, 在末端实现水资源与有价值组分的回收利用。这一诉求

【作者简介】杜道忠(1988-), 男, 中国河南濮阳人, 工程师, 从事化工污水综合治理、工艺优化与资源利用等研究。

深度融合了国家环保政策的刚性约束与企业追求降本增效的内在动力，其终极目标是实现环境效益与经济效益的协同统一。

2.2 技术研发原则与目标

减排增效研究要遵循科学性、工程适用性与经济性兼顾的原则。科学性需要对技术研发对污染物迁移转化机理有深刻的研究，确保技术路线的先进性与可靠性。工程适用性重点在于技术必须要适应化工生产连续、工况复杂的实际特点，具备良好的可操作性与稳定性。经济性原则需要全面评估技术的全生命周期成本，找到治理投入与产出效益的最佳平衡点。基于以上原则，技术研发的总体目标是构建低能耗、高效率、低二次污染、且具备资源回收潜力的污水处理技术集群，通过各技术环节的协同效应，驱动化工水系统向绿色循环方向根本性转变。

2.3 行业对技术的创新需求

面对产业升级和环保提标的双重压力，化工行业对污水处理的技术创新提出了新的需求。首先，针对特征污染物的高效深度处理技术存在明显短板，亟需开发新型催化材料、高效功能菌剂及高级氧化工艺。其次，现有技术体系呈碎片化，缺乏从源头到末端的全流程系统化设计与协同优化方案。此外，将物联网、大数据、人工智能等智能化技术与传统水处理工艺深度融合，实现过程的精准预测与优化控制，已成为提升管理效能、降低人为干预风险的重要创新方向^[1]。

3 化工污水减排增效关键技术研发与突破

3.1 源头减排技术研发

源头减排是治本之策，其核心在于通过清洁生产技术改造，从生产环节本身削减污染负荷。关键技术包括环境友好型原料替代技术，旨在从分子设计层面避免或减少有毒有害物质的生成；反应过程优化技术，通过改进催化剂、优化反应器设计及工艺条件，提高原子经济性，减少副产物的产生；生产过程节水与资源循环技术，例如采用分级用水、蒸汽冷凝液回收、工艺水闭环循环等，显著降低新鲜水消耗与废水产生量。这些技术的研发与应用，体现了从末端治理向过程预防的范式转变。

3.2 过程强化处理技术创新

过程强化处理技术聚焦于提升单元处理过程的效率与能力，如高级氧化技术通过产生羟基自由基等强氧化性物质，可无选择性地降解难生化有机物，是处理高毒性、难降解化工废水的有效手段。高效生物处理技术则通过投加特种菌剂、优化生物膜载体、改进反应器流态等方式，强化微生物对特定污染物的降解能力，并提高系统抗冲击负荷的性能。膜分离技术，包括微滤、超滤、纳滤及反渗透，凭借其精确的物理筛分作用，能高效实现固液分离、溶质浓缩与水质净化，为后续资源回收创造条件。

3.3 尾水深度回用技术突破

实现废水深度回用是达成近零排放与水资源可持续利用的关键，该领域的技术突破主要体现在集成化深度处理工艺上。例如臭氧-生物活性炭组合工艺可进一步去除水中的微量有机物与色度；高效反渗透与电渗析等膜浓缩技术，能在产出高品质回用水的同时，实现盐分的富集与资源化；此外，针对循环冷却水、锅炉补水、工艺用水等不同生产环节的水质个性化调控技术也至关重要，它确保了回用水的安全性及适用性，从而真正将废水转化为稳定的第二水源。

4 化工污水减排增效关键技术的应用路径与优化

4.1 工艺整合与流程优化

关键技术的有效性与实用性最终体现在工程应用层面，成功的应用并非技术的简单堆砌，而需通过科学的工艺整合与流程优化，构建一体化解决方案。这要求根据具体污水的水质特性、水量变化及回用目标，将源头减量、过程强化与末端回用的单元技术进行有机串联与并联设计，形成优势互补、能耗最低的全流程处理链条。流程优化则侧重于对现有系统的诊断与改进，通过调整水力停留时间、污泥龄、药剂投加点等关键参数，消除系统瓶颈，提升整体能效与稳定性。

4.2 运行调控与成本控制

稳定高效的运行依赖于精细化的调控策略与全生命周期的成本控制，借助在线水质监测仪表、智能控制系统与大数据分析平台，可实现污水处理过程的实时监控、智能预警与自适应调节，大幅提升运行的精准度与可靠性^[2]。成本控制需贯穿于技术选型、工程建设与运营维护全过程，在保证处理效果的前提下，通过选用高效设备、优化药剂投加、实施预防性维护以及挖掘资源化收益，如回收热能、磷、氮等，有效降低水处理成本，实现环境管理的经济可持续性^[2]。

4.3 适配性提升与场景拓展

鉴于化工企业生产工艺与废水组分的多样性，减排增效技术必须具备良好的适应性与可拓展性。针对煤化工、制药、农药等不同行业或不同园区，技术方案需进行定制化开发与中试验证。同时还要积极拓展技术在特殊场景下的应用，如高盐废水、含重金属废水、化工园区综合污水的集中处理等，通过解决这些难点问题，推动减排增效技术在更广泛范围内的普及与提升。

5 鹤壁煤化工污水系统综合治理与资源化实践应用实例

为将前述关键技术体系与实施路径置于真实工业场景中进行验证，本文以河南能源化工集团鹤壁煤化工有限公司污水站综合治理项目为典型案例，展开深入剖析^[3]。该项目直面高氨氮化工污水处理这一行业共性难题，通过系统性技术攻关，构建并成功应用了以源头减排、过程优化、末端回用为核心的一体化技术体系，为同类企业提供了可资借鉴的

工程范式。

5.1 案例背景与核心挑战

鹤壁煤化工产生的污水具有典型的污染物浓度高、水质波动大的特征。项目实施前,其污水站面临多重严峻挑战:核心的序批式活性污泥法工艺对总氮的去除效率不稳定,出水的水质频繁濒临超标,对全厂连续稳定生产构成重大环保风险。同时系统资源化水平低,每日大量达标外排水直接排放,而厂内中水回用系统却因设计限制无法利用该水源,导致污水减排与增效目标脱节。此外,总排放口的排污总量长期居高不下,且动力车间优质的定排联排水未被回收而无效流失。这些水资源管理环节的缺失,共同从环保合规与运营成本两方面制约了企业的绿色发展与成本控制。

5.2 三位一体技术体系的构建与实施

项目摒弃局部改造思路,基于系统工程理念,构建了协同增效的三位一体技术体系。在过程强化方面,针对SBR池脱氮难题,项目开发了基于在线硝酸盐监测的精准碳源投加系统与多模式运行策略,实现了反硝化过程的精确控制与抗冲击能力提升,并将曝气模式优化为按需曝气以降低能耗。在资源化重构方面,项目取得了关键路径突破:一是将污水站达标外排水引入中水回用系统进行深度处理,转化为高品质工业补水;二是对动力厂定排联排水实施清污分流与独立回收。这两项措施有效重构了厂区水网络,实现了水资源的内部循环。

5.3 实施成效:减排与增效的协同实现

项目实施后取得了显著的综合效益,环境效益方面,总排口日均外排水量由峰值大幅下降并稳定在较低区间,减排幅度超过百分之五十,年累计减少污水排放超百万吨。在排水量锐减的同时,出水水质稳定达标,化学需氧量与氨氮的年排放总量同比大幅削减。经济效益方面,通过节水回用与排污费削减,项目年直接经济效益达数百万,污水处理单位成本同步下降。项目投资在短期内即可收回成本,将污

水处理设施由成本负担转化为具有自我造血功能的战略资产,构建了降本增效与环境保护双赢的新格局^[3]。

5.4 案例启示与推广价值

鹤壁煤化工的实践案例所提供的启示超越了单纯的技术范畴。首先验证了技术集成是应对复杂化工污水问题的根本路径,必须对源头预防、过程强化与末端回用进行协同优化。其次,管理创新与智能管控对保障系统高效运行具有与技术同等关键的价值。核心启示在于,资源化理念是连通环保投入与经济效益的关键桥梁;将污水视为可开发资源进行利用,能为污染治理注入持续动力。本案例所针对的水质波动、资源回收等挑战,在煤化工、石化等行业具有普遍性,具备显著的行业普适性与重要的推广价值。

6 结论

化工污水减排增效是实现行业绿色可持续发展的核心环节。本文研究表明,应对这一挑战需要构建从源头预防到末端回用的全链条技术体系,其中源头清洁生产、过程高效强化与深度资源回用是三大关键技术方向。这些技术的有效性依赖于科学的工艺整合、智能化的运行调控以及面向不同场景的适应性优化。鹤壁煤化工的案例实证表明,通过系统性的技术集成与管理创新,企业完全能够破解减排与增效的矛盾,实现环境绩效与经济收益的双重提升。未来,随着新材料、新能源与信息技术的进一步融合,化工污水处理将向着更高效、更智能、更资源化的方向持续演进。

参考文献

- [1] 张毅. 我国工业废水处理现状、问题及新技术展望[J]环境工程学报, 2021, 15(10): 175-187.
- [2] 连民智. SIS系统在煤化工装置中的应用分析[J]工程建设标准化, 2024, 39(3): 171.
- [3] 河南能源化工集团. 鹤壁煤化工污水综合治理与资源化利用项目技术报告[R]鹤壁: 河南能源化工集团, 2023.