

化工废水处理技术现状及发展趋势研究

梁建伟

酒泉顺鑫气体股份有限公司，甘肃 酒泉 735300

DOI:10.61369/WCEST.2026030032

摘 要： 化工行业快速发展伴随大量成分复杂、毒性强、难降解废水排放，严重威胁生态环境与人类健康。本文系统梳理当前化工废水处理主流技术的应用现状，分析各类技术的优势与局限性，探讨未来技术发展的核心方向与关键趋势，总结不同类型化工废水的针对性应用方法。研究旨在为化工废水处理技术的优化升级与工程实践提供理论参考，推动化工行业绿色可持续发展。

关 键 词： 化工废水；处理技术；应用现状；发展趋势；污染治理

Research on Current Status and Development Trends of Chemical Wastewater Treatment Technology

Liang Jianwei

Jiuquan Shunxin Gas Co., Ltd., Jiuquan, Gansu 735300

Abstract： The rapid development of the chemical industry has led to the discharge of wastewater containing complex components, high toxicity, and poor biodegradability, posing severe threats to ecosystems and human health. This paper systematically reviews the current application status of mainstream wastewater treatment technologies in the chemical industry, analyzes the advantages and limitations of various techniques, explores key directions and trends for future technological advancements, and summarizes targeted treatment methods for different types of chemical wastewater. The research aims to provide theoretical references for optimizing wastewater treatment technologies and engineering practices, thereby promoting green and sustainable development in the chemical industry.

Keywords： chemical wastewater; treatment technology; application status; development trends; pollution control

前言

化工废水作为工业废水的关键构成部分，具备污染物浓度偏高、成分复杂且易变、毒性较强、可生化性不佳等突出特征。若化工废水未经有效处理便直接排放，将会引发水体富营养化、土壤污染、生物多样性下降等一系列环境隐患，甚至会通过食物链的富集作用对人体健康构成威胁。随着我国环保法规日益严格和化工行业转型升级需求不断提升，传统化工废水处理技术已难以满足当前高标准的排放要求。本文围绕化工废水处理技术的现状、发展趋势及应用方法展开深入研究，为提升化工废水治理水平提供科学依据。

一、化工废水处理技术现状

（一）物理处理技术

物理处理技术在化工废水治理中扮演着基础性角色，主要依据物理原理实现废水中不溶悬浮物及部分溶解性物质的分离与去除。重力沉降法依赖颗粒与水的密度差，使较重悬浮物在重力作用下自然沉淀，多用于预处理以清除较大悬浮颗粒和泥沙。该方法操作简便、费用较低，但对细微颗粒和胶体去除能力不足。过

滤法则利用滤料（如石英砂、活性炭、纤维球等）的拦截、吸附和筛分作用净化水质，其中活性炭能有效吸附有机物和脱色，但存在滤床易堵、再生费用较高等缺点。膜分离技术是近年来快速发展的物理处理手段，涵盖微滤、超滤、纳滤及反渗透等形式，可达到分子级分离效果，能高效脱除盐分、重金属和难降解有机物，但其应用受限于膜污染和较高的运营成本。气浮工艺通过向水中注入空气形成微气泡，使悬浮物黏附气泡而上浮分离，尤其适用于去除密度接近水的细小颗粒和油类，具有效率高、占地少

的优点，但能耗相对较大^[1]。

（二）化学处理技术

化学处理技术通过化学反应改变废水中污染物的化学性质，使其转化为无害物质或易于分离的形态。中和法是处理酸碱废水的常用方法，通过投加酸碱中和剂调节废水 pH 值至中性范围，工艺简单、操作方便，但会产生大量污泥需要后续处理。氧化法利用氧化剂的强氧化性分解废水中的有机污染物和还原性物质，常用氧化剂包括臭氧、过氧化氢、次氯酸钠等，其中高级氧化技术能够产生具有强氧化性的羟基自由基，对难降解有机物有显著的分解效果，成为当前研究的热点。还原法主要用于处理含重金属离子的废水，通过投加还原剂将高价重金属离子还原为低价态，再通过沉淀或其他方法去除，常用还原剂有硫酸亚铁、亚硫酸钠、铁屑等。化学沉淀法通过投加化学药剂与废水中的污染物发生化学反应生成难溶性沉淀，从而实现污染物的分离去除，广泛应用于含重金属、磷酸盐和氟化物的废水处理，但存在药剂用量大、污泥产量高的问题。

（三）生物处理技术

生物处理技术利用微生物的代谢作用分解废水中的有机污染物，是化工废水处理的核心技术之一。好氧生物处理技术在有氧条件下，利用好氧微生物将有机污染物分解为二氧化碳和水，常用工艺包括活性污泥法、生物膜法、氧化沟等，具有处理效率高、运行稳定的特点，但对高浓度和难降解有机废水的处理效果不佳。厌氧生物处理技术在无氧条件下，利用厌氧微生物将有机污染物分解为甲烷和二氧化碳，能够处理高浓度有机废水，同时产生沼气实现能源回收，具有能耗低、污泥产量少的优点，但存在启动周期长、对环境条件要求严格的问题。组合生物处理技术将好氧和厌氧工艺相结合，充分发挥各自的优势，能够有效处理成分复杂的化工废水，如厌氧-好氧工艺、水解酸化-好氧工艺等，已在工程实践中得到广泛应用。生物强化技术通过向处理系统中投加高效降解菌、酶制剂或生物载体，提高系统对特定污染物的降解能力，是提升生物处理效果的重要手段。

二、化工废水处理技术发展趋势

（一）高效低耗技术创新

高效低耗是化工废水处理技术发展的核心目标之一，未来将重点研发能够在温和条件下实现污染物高效降解的新型技术。新型催化剂的研发是高级氧化技术发展的关键，包括非均相催化剂、光催化剂、电催化剂等，能够提高氧化剂的利用率和反应速率，降低处理成本。新型生物处理技术的研发将聚焦于高效降解菌的筛选与培育，以及生物反应器的优化设计，提高微生物对难降解有机物的降解能力和系统的处理效率。膜材料的创新将致力于开发抗污染、高通量、长寿命的新型膜材料，同时优化膜组件结构和运行方式，降低膜污染程度和运行能耗。此外，能量回收技术的发展将进一步降低化工废水处理的能耗，如厌氧沼气发电、水力发电、余热回收等，实现废水处理过程的能源自给^[2]。

（二）智能化与自动化融合

随着人工智能、物联网、大数据等技术的快速发展，智能化与自动化将成为化工废水处理行业的重要发展趋势。智能监测系统能够实时监测废水的水质、水量、pH 值、溶解氧等关键参数，通过传感器和数据采集设备将数据传输至中央控制系统，实现对处理过程的全面监控。智能控制系统基于大数据分析和人工智能算法，能够根据进水水质和水量的变化自动调整运行参数，优化处理工艺，提高系统的运行效率和稳定性。故障诊断与预警系统能够通过分析运行数据及时发现系统存在的问题，并发出预警信号，指导运维人员进行维修和保养，降低系统故障发生率。此外，数字孪生技术的应用将实现化工废水处理厂的虚拟仿真，通过模拟不同工况下的运行效果，为工艺优化和决策制定提供科学依据^[3]。

（三）绿色化与清洁化发展

绿色化与清洁化是化工行业可持续发展的必然要求，也是化工废水处理技术发展的重要方向。源头控制技术将得到更加广泛的应用，通过优化化工生产工艺、采用清洁生产技术、减少原材料的使用量和污染物的产生量，从根本上降低化工废水的处理负荷。绿色处理技术的研发将聚焦于环境友好型药剂和材料的开发，如生物絮凝剂、生物吸附剂、可降解膜材料等，减少处理过程中二次污染的产生。污泥减量化与资源化技术将成为研究的重点，通过优化处理工艺减少污泥的产生量，同时对污泥进行资源化利用，如污泥堆肥、污泥制砖、污泥焚烧发电等，实现污泥的无害化、减量化和资源化^[4-5]。此外，生态处理技术的应用将进一步提升化工废水处理的环境效益，如人工湿地、稳定塘等，利用生态系统的自净能力处理废水，同时改善生态环境。

（四）资源化与循环利用导向

水资源短缺问题日益严峻，化工废水的资源化与循环利用将成为未来发展的重要趋势。废水回用技术将得到更加广泛的应用，通过深度处理技术将化工废水处理至不同等级的回用标准，用于生产用水、循环冷却水、绿化用水等，实现水资源的循环利用。有价物质回收技术将聚焦于从化工废水中回收有价值的资源，如重金属离子、有机溶剂、无机盐等，不仅能够减少污染物的排放，还能够创造经济价值。零排放技术是化工废水处理的终极目标，通过将废水处理至可回用标准，实现废水的全部回用，不向环境排放任何废水，目前已在部分高耗水化工企业得到应用。此外，能源回收技术的发展将进一步提高化工废水的资源化水平，如利用废水中的有机物生产生物燃料、利用废水的温差发电等。

三、化工废水处理技术的应用方法

（一）高浓度有机化工废水处理方法

高浓度有机化工废水主要产生于石化、煤化工、制药与印染等行业，其典型特征是 COD 含量高、可生化性低且具有一定生物毒性。此类废水常采用“预处理-厌氧-好氧-深度处理”的组合工艺路线。预处理阶段多通过混凝沉淀、气浮或高级氧化等

方法,去除悬浮物、油脂及部分难降解有机物,从而改善废水的可生化性。厌氧处理常借助 UASB、IC 或 EGSB 等高效反应器,将有机物转化为甲烷和二氧化碳,显著降低 COD 负荷。好氧处理则采用活性污泥法或生物膜法,进一步降解有机污染物,使出水基本达到排放要求。深度处理环节可采用活性炭吸附、膜分离或高级氧化等技术,去除残留难降解有机物与色度,保障出水水质稳定。对某些特殊类型的高浓度有机化工废水,也可选用焚烧工艺,实现有机污染物的彻底氧化(生成二氧化碳和水),但该方法存在能耗高、投资大及可能产生二次污染等问题^[6]。

(二)含重金属化工废水处理方法

含重金属的化工废水主要来自电镀、冶金、化工、电子等行业。此类废水往往毒性大、可生化性差,并易在生物体内富集。目前处理这类废水,最普遍的方法之一是化学沉淀法。该方法通过向废水中投加氢氧化物、硫化物或碳酸盐等沉淀剂,使重金属离子形成难溶性沉淀,从而得以分离去除。该方法工艺简单、运行成本较低,但也存在明显不足,如污泥产生量大、出水水质较不稳定。另一种常用技术为吸附法,即利用吸附材料的吸附性能去除重金属离子。常用的吸附剂包括活性炭、沸石、膨润土及各类生物吸附剂等^[7]。其中,生物吸附剂由于原料来源广、成本低且吸附效果较好,已成为当前的研究热点。膜分离技术可高效分离并回收重金属离子,具有出水质量高、二次污染少的优点,但运行费用较高。离子交换法借助离子交换树脂与重金属离子进行交换反应,能有效去除并回收重金属,处理效果良好,但树脂再生成本较高。此外,电解法、生物法等技术含重金属废水处理中也得到了一定应用。

(三)含盐化工废水处理方法

含盐化工废水主要来源于海水淡化、石油化工、煤化工、制药等行业,具有盐度高、成分复杂、处理难度大等特点。蒸发结晶法是处理高含盐废水最常用的方法,通过加热使废水蒸发浓缩,然后结晶分离出盐类物质,实现废水的零排放,但蒸发结晶法能耗高、投资大。膜分离法包括纳滤和反渗透,能够有效去除废水中的盐类物质,出水水质好,但存在膜污染和浓水处理的问题。生物法处理含盐废水需要筛选和培育耐盐微生物,通过驯化使微生物适应高盐环境,然后利用微生物的代谢作用分解废水中的有机污染物,常用工艺包括活性污泥法、生物膜法等,但高盐

环境会抑制微生物的活性,降低处理效率。电渗析法利用电场作用使离子通过离子交换膜进行迁移,实现盐类物质的分离和浓缩,具有能耗低、操作简单的特点,但对进水水质要求较高。此外,正渗透法、膜蒸馏法等新型技术也在含盐废水处理中展现出良好的应用前景^[8]。

(四)难降解有机化工废水处理方法

难降解有机化工废水多源自染料、农药、医药及精细化工等领域,废水中通常富含芳香族化合物、杂环化合物以及高分子聚合物等难以分解的有机物质,普遍具有毒性强、可生化性低、处理难度高等特征。在各类处理手段中,高级氧化技术被认为是应对此类废水的有效方式之一,涵盖芬顿氧化、臭氧氧化、光催化氧化与电催化氧化等多种方法^[9]。该技术可生成氧化能力极强的羟基自由基,将难降解有机物转化为更易生物降解的小分子有机物,乃至最终矿化为二氧化碳和水。

生物强化技术通过向生物处理系统中投加高效降解菌、酶制剂或生物载体,提高系统对难降解有机物的降解能力,常与高级氧化技术联合使用。组合工艺是处理难降解有机废水的发展方向,如“高级氧化-生物处理”组合工艺、“吸附-高级氧化”组合工艺、“膜分离-高级氧化”组合工艺等,能够充分发挥不同技术的优势,提高处理效果和出水水质。此外,低温等离子体技术、超声技术等新型技术也在难降解有机废水处理中得到了广泛的研究^[10]。

四、结语

化工废水处理是环境保护和化工行业可持续发展的重要任务,当前物理、化学、生物及组合处理技术已在工程实践中得到广泛应用,但仍存在处理成本高、二次污染严重、资源化利用率低等问题。未来化工废水处理技术将朝着高效低耗、智能化、绿色化、资源化的方向发展,新型催化剂、膜材料、生物制剂的研发以及人工智能、大数据等技术的融合将成为推动技术进步的关键。同时,应加强源头控制,推广清洁生产技术,从根本上减少污染物的产生,构建“源头减排-过程控制-末端治理-资源化利用”的全过程污染防控体系,实现化工行业与生态环境的协调发展。

参考文献

- [1] 王致远,万振磊,张利超,刘雨鑫,屠露怡,周广天,胡斌涛,刘济昀.膜分离技术在化工废水处理中的应用[J].江西化工,2026,42(01):82-86.
- [2] 张续钟.气体膜分离技术在石油化工废水处理中的应用[J].山西化工,2026,46(01):253-255+258.
- [3] 秦国英.基于吸附树脂处理技术的煤化工废水处理关键技术研究[J].山西化工,2026,46(01):247-249.
- [4] 白林,郭红波,任松宇,尤峰,唐满富,杜松.煤化工废水高盐-有机复合污染协同效应及处理技术研究进展[J].中国煤炭地质,2025,37(12):53-59.
- [5] 柳黄燕.化工废水厌氧和好氧处理的关键技术[J].新疆钢铁,2025,(04):75-77.
- [6] 王姣姣.微生物电化学技术在化工废水处理中的应用[J].化纤与纺织技术,2025,54(11):84-86.
- [7] 陈莉.化工废水处理技术对环境影响的比较与优化研究[J].生态与资源,2025,(11):166-168.
- [8] 燕晓慧,王文丽,刘崎峰.煤化工废水的催化臭氧氧化法处理工艺技术的进展[J].净水技术,2025,44(11):19-29+81.
- [9] 王冬.化工废水深度处理与达标排放关键技术探讨[J].华东纸业,2025,55(11):84-86.
- [10] 孙洪凯,赵星,高吉祥.高浓度纸化工废水中硫化物安全处理技术研究[J].华东纸业,2025,55(11):105-107.