

绿色化工技术在炼油废水处理中的协同应用

王 军

中海壳牌石油化工有限公司 广东惠州

【摘要】 炼油废水排放量大、成分复杂、污染物毒性高，其处理关乎环保与石油工业可持续发展。绿色化工技术的协同应用成为破题关键。生物处理、物理化学处理与纳米技术等有机结合，可高效去除各类污染物。生物絮凝剂与高级氧化技术协同提升难降解有机物去除率，膜分离与吸附技术联用有效去除重金属和油类。这种协同既能提效降本，又能减少二次污染，实现环保与经济双赢，为炼油废水处理开辟新方向。

【关键词】 绿色化工技术；炼油废水；协同应用；生物处理；物理化学处理

【收稿日期】 2025 年 5 月 18 日 **【出刊日期】** 2025 年 6 月 22 日 **【DOI】** 10.12208/j.jccr.20250038

Synergistic application of green chemical technologies in oil refinery wastewater treatment

Jun Wang

Cnooc&shell petrochemical company limited, Huizhou, Guangdong

【Abstract】 Oil refinery wastewater discharge involves massive volumes, complex compositions, and highly toxic pollutants. Effective treatment is crucial for environmental protection and sustainable petroleum industry development. The synergistic application of green chemical technologies has become the key to solving this challenge. By organically integrating biological treatment, physicochemical processes, and nanotechnology, various pollutants can be efficiently removed. The combination of biological flocculants and advanced oxidation technologies enhances the removal rate of refractory organic compounds, while membrane separation combined with adsorption techniques effectively eliminates heavy metals and oil residues. This synergy not only improves efficiency and reduces costs but also minimizes secondary pollution, achieving a win-win situation for both environmental protection and economic benefits. This approach paves new pathways for oil refinery wastewater treatment.

【Keywords】 Green chemical technologies; Oil refinery wastewater; Synergistic application; Biological treatment; Physicochemical treatment

引言

炼油行业在经济发展中占据重要地位，但其产生的大量废水给环境带来沉重负担。炼油废水成分复杂，含多种难降解污染物，传统处理方法效果有限。随着环保要求日益严苛，开发高效、绿色的炼油废水处理技术迫在眉睫。在此背景下，研究绿色化工技术在炼油废水处理中的协同应用，旨在探索更优处理方案，实现废水达标排放与资源回收利用，对推动炼油行业可持续发展意义重大。

1 绿色化工技术协同处理炼油废水的原理

绿色化工技术协同处理炼油废水，是基于不同技术间的互补特性构建的系统性解决方案。生物处理技术作为整个处理体系的基础环节，利用自然界中丰富

的微生物资源，通过微生物的新陈代谢活动对废水中的有机物进行分解转化。在这个过程中，微生物以废水中的有机物为营养源，将大分子的复杂有机化合物逐步分解为小分子物质。在活性污泥法处理系统中，大量的微生物群体附着在污泥絮体上，形成具有吸附和分解能力的生物活性体。它们能够将石油炼制废水中常见的烃类、酚类等有机物分解，显著降低废水的化学需氧量（COD），使废水的有机污染程度大幅减轻。

高级氧化技术则作为生物处理的重要补充，对生物处理后残留的难降解有机物进行深度处理。以芬顿氧化技术为例，其核心原理是利用亚铁离子与过氧化氢反应，产生具有强氧化性的羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）。这些羟基自由基的氧化电位极高，能够与生物处理后

仍残留在废水中的诸如多环芳烃、杂环化合物等顽固污染物发生反应,通过一系列自由基链式反应,将这些难降解有机物彻底氧化分解,最终矿化为二氧化碳和水等无害物质^[1]。生物处理与高级氧化技术的协同,形成了一种阶梯式的处理模式。生物处理先行,降低废水中有机物的浓度和复杂性,为后续高级氧化减轻处理负荷;高级氧化跟进,消除可能对微生物产生抑制作用的残留污染物,为生物处理创造更有利的环境条件,从而显著提升整体处理效果。

物理吸附技术与膜分离技术协同,旨在高效分离去除炼油废水中的特定污染物。前者凭借吸附剂高比表面积与特殊孔隙结构,对重金属离子、油类及部分有机物产生吸附,不同吸附剂可选择性吸附特定污染物;后者依据膜材料选择透过性,通过压力或浓度差驱动,实现不同粒径污染物截留^[2]。实际应用中,物理吸附预先减少污染物负荷,降低膜污染,膜分离则进一步去除小分子污染物,二者配合显著提升废水净化效率。

2 不同绿色化工技术协同应用的优势

多种绿色化工技术协同应用于炼油废水处理,在处理效率、成本控制和环保效益等方面优势显著。处理效率上,生物处理与物理化学法协同互补,可全面去除复杂污染物。生物处理利用微生物代谢快速降解糖类、蛋白质等易降解有机物,降低污染负荷;混凝沉淀、高级氧化等物理化学技术则针对性处理难降解有机物、胶体和重金属离子。如生物法与混凝沉淀法联用,前者大幅削减有机物浓度,后者通过投加混凝剂,凝聚沉淀残留胶体、悬浮物及难降解有机物,突破单一技术局限,显著提升处理效率,确保出水达标回用。

在成本控制方面,绿色化工技术的协同应用显著降低企业废水处理成本。以厌氧-好氧生物处理协同工艺为例,厌氧处理产生的沼气可替代传统能源用于供热、发电,直接降低能源采购成本;其对大分子有机物的分解作用,使后续好氧处理阶段曝气量需求大幅减少,有效降低曝气能耗^[3]。协同工艺中水资源循环利用技术,通过减少新鲜水取用,进一步降低运行成本。这种资源循环与能耗优化模式,既提升企业经济效益,又增强其可持续发展能力。

在环保效益上,绿色化工技术协同应用能够有效减少化学药剂使用,降低二次污染风险。传统的废水处理技术往往依赖大量的化学药剂,如化学絮凝剂、氧化剂等,这些化学药剂的使用虽然能够达到一定的处理效果,但在处理过程中可能会引入新的污染物,或者处理后产生的污泥、残渣等废弃物难以处置,对环境造成

潜在危害。而绿色化工技术协同应用注重采用环境友好型的处理方法和药剂。采用生物絮凝剂替代部分化学絮凝剂,生物絮凝剂是由微生物产生的具有絮凝功能的高分子物质,其絮凝效果与化学絮凝剂相当,甚至在某些情况下更为优异。更重要的是,生物絮凝剂具有良好的生物降解性,在完成絮凝作用后,能够在自然环境中被微生物分解,不会在环境中积累,从而避免了化学药剂可能带来的二次污染问题^[4]。通过技术协同优化处理流程,还可以减少废水处理过程中废气、废渣的产生量,降低对周边环境的影响,实现炼油废水处理的绿色化、低碳化发展,对环境保护具有重要意义。

3 绿色化工技术协同应用面临的挑战

尽管绿色化工技术协同应用在炼油废水处理领域前景广阔,但在实际推广和应用过程中,仍面临诸多亟待解决的挑战。其中,技术兼容性问题是关键制约因素。不同绿色化工技术在反应条件与处理流程上存在显著差异:生物处理技术依赖中性温和环境,微生物对pH值、温度等参数敏感;而芬顿氧化、臭氧氧化等化学氧化技术需在酸性条件下才能发挥最佳效果,两者协同应用难度大。技术联用的流程衔接也存在隐患,如物理吸附与膜分离技术联用,吸附产生的颗粒易造成膜污染,影响分离性能。优化工艺参数,化解技术间矛盾,实现协同稳定高效运行,是亟需攻克的难题。

设备投资成本高也是绿色化工技术协同应用面临的一大障碍。许多绿色化工技术的协同应用需要购置专门的设备和装置。以膜分离与吸附联用技术为例,需要配备膜组件、吸附塔、压力泵、反冲洗设备等一系列配套设施。膜组件作为膜分离技术的核心部件,其价格昂贵,且使用寿命有限,需要定期更换,更换成本较高^[5]。吸附塔也需要填充大量的吸附剂,而一些高性能的吸附剂价格不菲,并且吸附剂在达到饱和吸附量后需要进行再生或更换,这也增加了运行成本。对于资金有限的中小型炼油企业来说,一次性投入大量资金购置这些设备和装置,以及后续承担高昂的设备维护和更换费用,是一个较大的经济负担。随着技术的不断发展和环保要求的日益提高,设备可能还需要进行升级改造,进一步增加了企业的成本压力,这在一定程度上限制了绿色化工技术协同应用的推广范围。

运行管理复杂是绿色化工技术协同应用面临的又一挑战。由于协同应用涉及多种不同类型的技术,其操作和维护需要专业知识和技能。操作人员不仅需要掌握生物处理技术中微生物培养、驯化、活性监测等知识,还需要了解物理化学处理技术中设备运行原理、药剂

投加控制、反应条件调节等内容,同时还需具备一定的设备维修和故障排除能力。目前,在炼油废水处理行业,既熟悉多种绿色化工技术原理,又具备实际操作经验的专业人才相对短缺。企业在招聘和培养这类人才时面临困难,导致操作人员专业水平参差不齐,难以保证多种技术协同运行的稳定性和高效性^[6]。不同技术在运行过程中可能会出现相互影响的情况,需要操作人员及时发现问题并进行调整,但由于专业知识和经验的不足,往往难以准确判断问题根源并采取有效的解决措施,增加了协同技术运行管理的难度,影响了绿色化工技术协同应用的推广和发展。

4 绿色化工技术协同应用的发展方向

未来,绿色化工技术在炼油废水处理协同应用中,将朝着智能化、高效化和可持续化方向发展。智能化是重要趋势,依托大数据、人工智能、物联网等信息技术,通过在废水处理系统部署传感器,实时监测水质(如COD、氨氮、pH值)和设备运行状态(压力、流量、温度),数据上传至数据中心。经大数据分析建立水质与工艺参数关系模型,结合神经网络、遗传算法等人工智能算法,自动调节生物处理曝气量、化学氧化药剂投加量、膜分离运行压力等参数,实现精准处理,提升效率与水质稳定性。

研发新型高效且兼容性强的绿色化工技术是推动协同应用发展的关键。当前,单一功能的处理技术已难以满足日益严格的环保要求和复杂多变的废水处理需求,开发多功能一体化处理设备成为重要方向。这类设备将多种处理功能集成于一体,通过合理设计设备内部结构和工艺流程,实现不同处理技术的无缝衔接和协同作用^[7]。将生物反应、混凝沉淀、膜分离等功能集成在一个设备单元中,废水依次经过不同的处理区域,完成从有机物降解、悬浮物去除到小分子污染物截留等一系列处理过程。这种一体化设备不仅减少了设备占地面积,降低了建设成本,还避免了不同技术衔接过程中可能出现的问题,提高了处理效率和稳定性。

加强产学研合作是推动绿色化工技术协同应用的关键。科研院所凭借理论与创新优势,针对企业炼油废水处理难题研发技术设备;企业则提供实践场景与应用反馈,加速成果转化^[8]。双方还可通过联合培养、技术培训等方式,培育兼具理论与实操能力的复合型人

才。产学研共同参与技术标准制定与政策研究,为行业向高效、环保、智能化发展筑牢根基。

5 结语

绿色化工技术在炼油废水处理中的协同应用已取得一定成效,显著提升了处理效率,降低成本并减少污染。但仍面临技术兼容性、高成本及管理复杂等挑战。展望未来,智能化、新型技术研发及产学研合作将成为发展重点。通过不断探索与创新,绿色化工技术协同应用有望实现炼油废水的零排放与资源最大化利用,为炼油行业的绿色可持续发展注入强大动力,在环境保护与经济发展间找到完美平衡。

参考文献

- [1] 李杜康.绿色化工环保技术的实践应用分析[J].清洗世界,2025,41(06):107-109.
- [2] 朱树镇,闫永,吴立剑.化工工程工艺中绿色化工关键技术研究[J].塑料包装,2025,35(03):66-69.
- [3] 吴宏宇,芦志超.绿色化工理念下大学生创新创业机遇与挑战分析[J].塑料工业,2025,53(05):217.
- [4] 张德强,陆健,庄顺江.绿色化工技术在化学工程与工艺中的应用[J].化纤与纺织技术,2025,54(04):60-62.
- [5] 王续峰.绿色化工视角下氢能制备技术研究[J].化纤与纺织技术,2025,54(04):42-44.
- [6] 朱晓玉.化学工程工艺中绿色化工技术运用分析[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(07):167-169.
- [7] 邵永超,燕强.绿色化工环保技术在工业生产中的应用与发展[J].清洗世界,2025,41(06):98-100.
- [8] 赵丽.绿色化工技术在精细化工中的应用[J].化纤与纺织技术,2025,54(03):76-78.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS