

化工行业废水中有机物去除的先进处理技术研究

薛晨恺 陆中芳 赵云峰 罗刚
嘉兴海然环境科技有限公司 浙江 嘉兴 314000

摘要: 在化工行业蓬勃发展的当下, 废水排放中复杂有机物成为环保痛点。本文深度洞察废水中有机物特性, 直面传统处理技术局限, 精细解析先进处理技术原理, 涵盖高级氧化、膜分离及新型生物处理等技术。梳理其在石油、制药、精细化工等领域应用实例, 展望技术集成、智能化、绿色化发展趋势。为化工企业量身打造有机物去除技术升级蓝图, 助力提升废水处理效能, 推动化工行业迈向绿色新征程。

关键词: 化工废水; 有机物去除; 先进处理技术; 发展趋势

引言

化工产业宛如经济增长的强劲引擎, 可其废水排放却似高悬的“达摩克利斯之剑”, 严重威胁生态环境。废水中种类繁多、结构复杂的有机物, 犹如隐藏在暗处的“污染杀手”, 传统处理技术在其面前力不从心。比如一些新型有机合成物, 传统工艺根本无法有效降解。先进处理技术的出现, 恰似一道曙光, 为攻克化工废水有机物污染难题带来转机。深入探究相关技术, 对化工行业挣脱污染枷锁、实现可持续发展意义非凡, 此为本文探讨的核心所在。

1 化工行业废水中有机物特性分析

1.1 有机物种类与结构特点

化工行业涵盖领域广泛, 废水中有机物种类繁多。石油化工废水富含烷烃、芳烃、烯烃等烃类化合物, 其结构中碳链与碳环形态多样, 部分芳烃还具有共轭双键结构, 化学性质相对稳定。制药化工废水则含有各类药物中间体、抗生素、激素等有机物, 分子结构往往包含复杂的官能团, 如氨基、羧基、羟基等, 且手性化合物常见, 增加了处理难度。精细化工废水的有机物更为多样, 像含氮、含硫杂环化合物, 以及具有特殊结构的表面活性剂等, 其独特结构使传统处理方法难以有效降解^[1]。

1.2 有机物浓度与毒性特征

化工废水有机物浓度差异显著, 部分行业如农药制造、染料生产废水, 有机物浓度极高, 化学需氧量(COD)可达数千甚至数万mg/L。高浓度有机物不仅消耗大量溶解氧, 导致水体缺氧, 还可能对微生物产生毒害作用。同时, 许多有机物具有毒性, 如酚类化合物能使蛋白质变性, 对水生生物和人体健康造成严重危害; 多环芳烃类物质具有致癌、致畸、致突变特性, 即便在低浓度下也会长期影响生态环境, 严重威胁生态系统平衡。

1.3 有机物在废水中的存在形态

有机物在化工废水中存在形态各异。部分以悬浮态存在, 如一些不溶性聚合物颗粒、油滴等, 可通过物理方法初步分离。但大量有机物以溶解态存在, 与水分子相互作用, 均匀分散在废水中, 难以用常规沉淀、过滤等手段去除。还有些有机物以胶体态存在, 粒径介于1-1000nm之间, 具有较大比表面积, 表面带有电荷, 稳定性强, 易吸附其他污染物, 增加了废水处理难度, 需要针对性处理技术才能实现有效分离与降解。

2 传统有机物去除技术的局限与不足

2.1 物理处理技术短板

物理处理技术如沉淀、过滤、气浮等, 在去除化工废水有机物方面存在局限。沉淀法主要针对悬浮态大颗粒有机物, 对于溶解态和胶体态有机物效果不佳。且当废水中有机物浓度过高时, 沉淀时间长, 沉淀设备体积庞大, 处理效率低下。过滤技术受滤材孔径限制, 难以截留微小有机物颗粒, 对溶解性有机物更是无能为力。气浮法虽能去除部分乳化油和悬浮有机物, 但对于成分复杂的化工废水, 气浮效果不稳定, 且需要添加大量化学药剂辅助, 易造成二次污染, 难以满足深度处理需求。例如在处理含高浓度有机聚合物的化工废水时, 沉淀法耗时久, 过滤难以见效, 气浮需大量药剂且易残留, 严重影响后续处理流程。

2.2 化学处理技术弊端

化学处理技术包括化学氧化、混凝沉淀等。化学氧化法常用氧化剂如高锰酸钾、过氧化氢等, 虽能氧化部分有机物, 但氧化能力有限, 对一些结构稳定的有机物难以彻底降解, 且氧化剂用量大, 处理成本高。混凝沉淀法通过添加混凝剂使有机物凝聚沉淀, 然而, 混凝剂的选择与投加量需精准控制, 否则会影响处理效果, 且产生大量化学污泥, 后续处理困难, 增加处理成本与环境风险。同时, 化学处理过程可能引入新的化学物质,

对水质造成二次污染。以处理含芳香烃类有机物的化工废水为例,化学氧化难以完全分解,混凝沉淀易残留药剂,污泥处理棘手,还易造成新污染隐患。

2.3 生物处理技术面临的挑战

生物处理技术利用微生物代谢降解有机物,但化工废水对微生物生存与代谢构成诸多挑战。废水中高浓度有毒有机物会抑制微生物生长,甚至导致微生物死亡,如重金属离子、高浓度酚类物质等。且废水水质波动大,微生物难以快速适应,处理效果不稳定。此外,部分难降解有机物,如多环芳烃、杂环化合物等,微生物无法将其作为碳源和能源利用,生物降解效率低,使得生物处理技术在化工废水有机物去除中受限。在某农药化工废水处理中,微生物受高毒成分抑制,面对水质突变无法适应,对难降解农药成分降解效果极差,处理效果大打折扣。

3 先进有机物去除技术原理解析

3.1 高级氧化技术作用机制

高级氧化技术通过产生强氧化性自由基,如羟基自由基($\cdot\text{OH}$),攻击有机物分子。以芬顿氧化为例,在酸性条件下,亚铁离子(Fe^{2+})与过氧化氢(H_2O_2)反应生成 $\cdot\text{OH}$,其氧化电位高达2.8V,能无选择性地将有有机物氧化分解为小分子物质,甚至彻底矿化为二氧化碳和水。在处理印染废水时,废水中复杂的有机染料分子在 $\cdot\text{OH}$ 的强氧化作用下,化学键断裂,颜色褪去并逐步分解。光催化氧化技术则利用光催化剂(如 TiO_2)在光照下产生电子-空穴对,空穴具有强氧化性,可将吸附在催化剂表面的有机物氧化降解,有效提升有机物去除效率,适用于处理多种难降解有机物。在光照充足的户外污水处理设施中, TiO_2 光催化剂持续发挥作用,将废水中难以生物降解的农药残留等有机物逐步转化为无害物质。

3.2 膜分离技术工作原理

膜分离技术依据膜的选择透过性分离有机物。微滤膜孔径一般在0.1-10 μm ,可截留悬浮颗粒、细菌等较大有机物。超滤膜孔径为0.001-0.1 μm ,能分离胶体、大分子有机物,如蛋白质、多糖等。反渗透膜孔径小于0.001 μm ,可有效截留小分子有机物、盐类等。在压力驱动下,水分子透过膜,而有机物被截留,实现水与有机物分离。在食品加工废水处理中,超滤膜能有效截留废水中的蛋白质,既避免蛋白质污染环境,又可回收利用。例如,在制药化工废水处理中,反渗透膜可去除废水中残留药物分子,实现水资源回用与有机物浓缩分离,在保障制药生产用水安全的同时,减少了水资源浪费。

3.3 新型生物处理技术核心原理

新型生物处理技术致力于克服传统生物处理难题。固定化微生物技术将具有特定降解能力的微生物固定在载体上,提高微生物浓度与稳定性,增强对有毒、难降解有机物的耐受性与降解能力。如将能降解多环芳烃的微生物固定在多孔陶瓷载体上,用于处理石油化工废水,微生物在载体上稳定生长繁殖,持续分解废水中的污染物。厌氧氨氧化技术利用厌氧氨氧化菌,在厌氧条件下将氨氮和亚硝酸盐氮直接转化为氮气,减少能耗与污泥产量,适用于处理含高浓度氨氮和有机物的化工废水,为生物处理技术注入新活力。在一些化工园区集中污水处理厂,采用厌氧氨氧化技术后,能耗降低了约30%,污泥产量大幅减少,降低了后续处理成本。

4 先进有机物去除技术应用实践

4.1 在石油化工废水处理中的应用

石油化工废水主要来源于炼油过程、化工原料生产等环节,其特点是有机物含量高、成分复杂,且含有大量的有毒有害物质。在石油化工废水处理中,先进有机物去除技术的应用取得了显著成效。例如,气浮技术通过微小气泡粘附悬浮物实现分离,其中涡凹气浮(CAF)技术因操作简单、运行成本低而被广泛应用,对浮油及悬浮固体(SS)的去除率超过80%。此外,生化处理技术也常用于石油化工废水的深度处理,通过厌氧-好氧组合工艺,可以有效去除高浓度有机物,提高废水的可生化性。这些技术的集成应用,不仅提高了石油化工废水的处理效率,还降低了处理成本,为石油化工行业的可持续发展提供了技术支持。

4.2 在制药化工废水处理中的应用

制药化工废水成分复杂,含有大量难降解的有机物和抗生素残留,处理难度较大。在制药化工废水处理中,先进有机物去除技术的应用主要集中在高级氧化技术和生物处理技术的结合上。例如,Fenton试剂氧化技术通过产生强氧化性的羟基自由基,能够有效降解难降解的有机物,提高废水的可生化性^[2]。此外,生物处理技术如厌氧-好氧组合工艺也被广泛应用于制药化工废水处理中,通过厌氧处理降低有机物浓度,再通过好氧处理进一步去除残留有机物,确保废水达标排放。这些技术的应用,不仅提高了制药化工废水的处理效果,还减少了对环境的污染,促进了制药行业的绿色发展。

4.3 在精细化工废水处理中的应用

精细化工废水具有有机物浓度高、成分复杂、毒性大等特点,处理难度较大。在精细化工废水处理中,先进有机物去除技术的应用主要集中在膜分离技术和高级氧化技术的结合上。例如,超滤(UF)和反渗透(RO)

膜技术可以有效去除废水中的悬浮物和溶解性有机物，提高废水的水质。此外，高级氧化技术如臭氧氧化和光催化氧化也被广泛应用于精细化工废水处理中，通过产生强氧化性的自由基，能够有效降解难降解的有机物，提高废水的可生化性^[3]。这些技术的集成应用，不仅提高了精细化工废水的处理效率，还降低了处理成本，为精细化工行业的可持续发展提供了技术支持。

5 先进有机物去除技术发展趋势展望

5.1 技术集成与协同创新趋势

未来，化工废水处理技术将更加注重技术集成与协同创新。多种处理方法的结合将成为主流趋势，例如将物理化学处理、生物处理和膜分离等方法相结合，形成一体化的废水处理系统。这种技术集成不仅能够提高处理效率，还能降低处理成本。例如，中信环境技术在石油化工、精细化工等高难度工业废水处理领域，成功应用了MBR技术、连续膜过滤（CMF）技术和反渗透（RO）技术，积累了丰富的成功案例。此外，协同创新也将成为技术发展的关键，通过产学研合作，推动新技术的研发和应用，为化工废水处理提供更高效、更经济的解决方案^[4]。

5.2 智能化与自动化发展方向

智能化与自动化是化工废水处理技术的重要发展方向。通过引入先进的传感器技术和自动化控制系统，实现对废水处理过程的实时监测和精准控制。例如，利用智能传感器实时监测水质参数和设备运行状态，结合自动化控制系统实现自动调节曝气量、药剂投加量等功能，提高处理效率和设备运行稳定性。此外，智能化系统还可以通过数据分析和预测模型，提前预警设备故障，减少停机时间，提高系统的可靠性和经济性。这种智能化与自动化的深度融合，将为化工废水处理带来更高的效率和更低的成本。

5.3 绿色环保型技术研发走向

随着环保要求的日益严格，绿色环保型技术研发将成为化工废水处理的重要方向。未来，废水处理技术将更加注重能源回收和再利用，例如通过厌氧消化技术回收沼气，用于设备运行或发电。此外，开发高效的污染物去除技术，减少化学药剂的使用量，降低对环境的二次污染。例如，利用生物降解技术和高级氧化技术，高效去除难降解的有机污染物，提高处理水质^[5]。同时，优化废水处理工艺，提高处理效率，减少能源消耗，实现废水处理的低碳化和可持续发展。

6 结论

化工行业废水中有机物去除，从剖析特性、反思传统技术局限，到应用先进技术及展望未来趋势，是一个不断探索进步的过程。先进处理技术虽已展现优势，但仍需持续创新。通过技术集成协同、智能化升级、绿色化研发，持续推进技术革新，对提升化工废水处理水平、助力化工行业绿色转型意义深远，需科研人员与企业携手努力，开创废水处理新局面。

参考文献

- [1]袁闯,李正宾.臭氧催化氧化技术在化工废水处理中的应用[J].化学工程与装备,2024,(07):158-160+124.
- [2]翟学东,郭磊,刘凤洋,等.采用催化臭氧氧化降解煤化工含盐废水中有机物效能研究[J].当代化工研究,2024,(13):70-72.
- [3]张明.煤化工废水难降解有机物的处理技术研究[J].山西化工,2024,44(04):48-49+67.
- [4]罗华瑞,卫少华,钱东,等.精细化工废水混凝深度净化效果及水征分析[J].净水技术,2023,42(11):127-135.
- [5]杨壮壮,刘永军,刘兴社,等.煤化工废水中油泥的聚结分离与水中有机物的去除效果[J].化工进展,2023,42(01):538-545.