

工业废水零排放工艺中有机物去除方法研究进展

王妙婷 张琪 吴春蕾

身份证号码: 1301331992****302X

摘要: 在全球环保意识不断增强、环保标准日益严格的大背景下, 工业废水零排放成为工业发展顺应时代的必然选择。而在工业废水零排放工艺体系里, 高效去除有机物是核心与关键。论文全面且深入地探讨了生物处理法、高级氧化法、活性炭吸附法、膜分离法等多种常用的有机物去除技术, 并对未来该领域的研究走向进行了前瞻性展望, 为工业废水零排放工艺中有机物去除技术的优化升级和合理选型提供了极具价值的参考依据。

关键词: 工业废水; 零排放; 有机物去除; 研究进展

Research Progress of Organic Matter Removal Method in the Zero-discharge Process of Industrial Wastewater

Miaoting Wang Qi Zhang Chunlei Wu

ID. No.: 1301331992****302X

Abstract: Under the background of increasing global awareness of environmental protection and increasingly strict environmental protection standards, zero discharge of industrial wastewater has become an inevitable choice for industrial development to conform to The Times. In the zero-discharge process system of industrial wastewater, the efficient removal of organic matter is the core and the key. This paper comprehensively and deeply discusses the biological treatment, advanced oxidation, activated carbon adsorption, membrane separation method and other commonly used organic matter removal technology, and the future research in the field of the prospective, for industrial wastewater zero discharge process of organic matter removal technology optimization and reasonable selection provides a valuable reference basis.

Keywords: industrial wastewater; zero discharge; organic matter removal; research progress

0 前言

工业废水若未经妥善处理就肆意排放, 会对生态环境造成严重的破坏。在此背景下, 工业废水零排放技术应运而生。在工业废水零排放的复杂工艺链条中, 去除废水中的有机物这一环节尤为重要。废水中的有机物不仅是引发水体富营养化的关键因素, 部分有机物还含有毒性和有害物质, 这些物质长期积累在生态系统中, 会对生态平衡造成严重破坏, 同时也会通过食物链等途径对人体健康产生潜在危害。所以, 研发兼具高效性和经济性的有机物去除方法, 对推动工业废水零排放进程具有重要的现实意义。

1 工业废水零排放概述

1.1 工业废水零排放的概念

工业废水零排放是指工业生产过程中的用水在经过多次重复利用后, 将那些含盐量高、污染物浓度大的废水进行近乎彻底(99%以上)的回收再利用。具体方式包括采用压滤机过滤出其中的不溶物后继续循环使用, 确保整个生产过程中没有任何废液排出工厂。而水中的盐类和污染物经过浓缩结晶或者压滤等工艺处理后, 会转化为废渣, 以固体形式排出工厂。这些废渣既可以送往垃圾处理厂进行填埋处理, 也可以经过进一步的回收处理, 作为化工原料再次投入

生产使用^[1]。

1.2 实现工业废水零排放的意义

能够极大程度地减少工业废水对地表水、地下水以及土壤的污染, 从而有效维护生态系统的平衡与稳定, 保护生物多样性。水资源利用角度: 显著提高了水资源的重复利用率, 使有限的水资源得到更充分的利用, 为可持续发展提供水资源保障。废水回收利用不仅降低了企业对新鲜水的取用量, 减少了取水成本, 同时也降低了废水处理成本。契合日益严格的环保政策要求, 使企业避免因违反环保法规而面临高额罚款、停产整顿等处罚。

2 工业废水零排放工艺中有机物去除方法

2.1 生物处理法

2.1.1 活性污泥法

活性污泥法是一种利用悬浮生长的微生物絮体(即活性污泥)在有氧环境下处理有机废水的好氧生物处理技术。在这一过程中, 微生物以废水中的有机物为营养源, 通过自身的代谢活动将有机物分解转化为二氧化碳和水等无害物质, 同时微生物自身也得以生长繁殖。该方法具有较高的处理效率, 对生化需氧量(BOD)和化学需氧量(COD)的去除率通常可达90%以上^[2]。

2.1.2 厌氧处理法

厌氧处理法是在无氧的环境条件下,借助厌氧微生物独特的代谢作用,将废水中的有机物分解为甲烷、二氧化碳等物质。这种处理方法具有能耗低的显著优势,同时在分解

有机物的过程中还能产生沼气,沼气可作为能源加以利用,实现了能源的回收。不过,厌氧处理法也存在一些不足之处。其处理时间较长,处理效率相对较低;出水水质较差,通常需要后续的好氧处理进行进一步净化^[3],如图1所示。

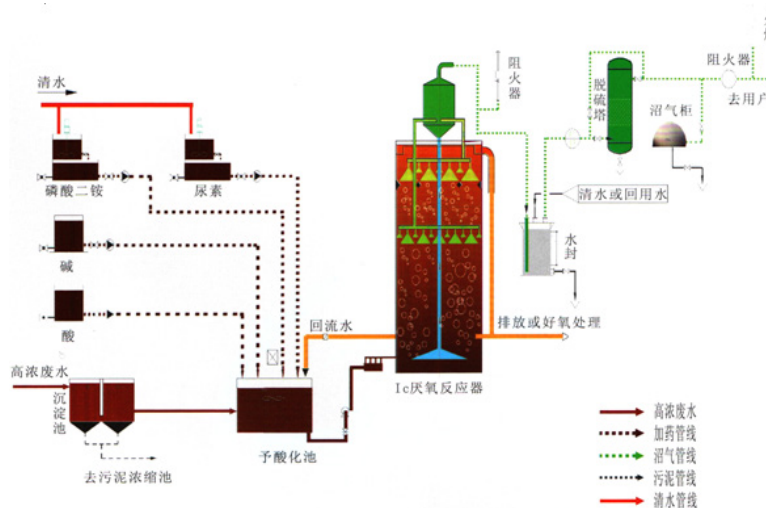


图1 厌氧处理法

2.1.3 生物膜法

生物膜法是通过让微生物附着在固体载体表面,形成一层具有代谢活性的生物膜,利用生物膜上微生物的代谢作用来分解转化废水中的有机物。生物膜法具有诸多优点,微生物附着在载体上,不易流失,因此对水质和水量的变化具有较强的适应性;污泥产量少,无需复杂的污泥回流系统;处理效率较高,并且能够同时去除有机物和氨氮等多种污染物^[4]。

2.2 高级氧化法

2.2.1 芬顿氧化法

芬顿氧化法的原理是利用亚铁离子(Fe^{2+})和过氧化氢(H_2O_2)之间的化学反应,产生具有强氧化性的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)。这些羟基自由基具有极强的氧化能力,能够无选择性地有机物氧化分解为二氧化碳和水等无害物质,其化学反应式为 $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$ 。该方法具有反应速度快、氧化能力强的优点,对难降解有机物具有较好的去除效果,操作相对简单,设备投资成本相对较低。

2.2.2 臭氧催化氧化法

臭氧催化氧化法是在催化剂的作用下,促使臭氧分解产生新生态氧原子,这些氧原子在水中进一步形成羟基自由基($\cdot\text{OH}$),从而破坏有机物的分子结构,使其分解裂解。催化剂的存在能够显著提高臭氧的利用率和氧化效率。这种方法具有氧化能力强、反应速度快的特点,能够有效去除废水中的有机物、色度和异味,并且不会产生二次污染,臭氧分解后生成的氧气对环境友好^[5]。

2.2.3 光催化氧化法

光催化氧化法是在光(如紫外线)的照射下,半导体催化剂(如 TiO_2 、 ZnO 等)吸收光子能量,产生电子-空穴对。这些电子-空穴对与水 and 氧气发生反应,生成具有强氧化性的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)和超氧自由基($\cdot\text{O}_2^-$),进而将有

机物氧化分解。该方法具有反应条件温和的优点,无需高温高压等苛刻条件;可以利用太阳能等清洁能源,实现节能和环保的双重目标;对多种有机物都具有良好的降解效果,且不会产生二次污染。

2.2.4 电催化氧化法

电催化氧化法是通过电极反应产生具有强氧化性的物质,如羟基自由基($\cdot\text{OH}$)等。这些自由基能够无选择性地废水中的有机物氧化分解为二氧化碳和水等无害物质。该方法操作简单,易于控制,可以通过调节电流、电压等参数来灵活控制反应进程;反应条件温和,通常在常温常压下即可进行;对有机物的去除具有高效性和广谱性,能够处理多种难降解有机物^[6]。

2.2.5 湿式催化氧化法

湿式催化氧化法是在高温($125^\circ\text{C} \sim 320^\circ\text{C}$)、高压($0.5 \sim 20\text{MPa}$)和催化剂存在的条件下,以氧气或空气为氧化剂,将废水中的有机物氧化为二氧化碳和水。催化剂的作用是降低反应的活化能,从而加快反应速率,提高氧化效率。该方法对高浓度、难降解有机废水具有非常好的处理效果,有机物去除率高;反应速度快,停留时间短;一般不会产生二次污染,氧化产物主要为无害的二氧化碳和水。

2.3 活性炭吸附法

活性炭吸附法是依靠活性炭自身巨大的比表面积和丰富的孔隙结构,通过物理吸附和化学吸附的共同作用,将废水中的有机物吸附在其表面。活性炭的吸附性能与自身的性质、结构密切相关,同时也受到有机物分子量、极性等因素的影响。活性炭对有机物具有较强的吸附能力,能够有效去除废水中的异味、色度和微量有机污染物。吸附过程操作简单、方便,可作为深度处理工艺来进一步提高出水水质^[7]。

2.4 膜分离法

2.4.1 超滤

超滤是利用超滤膜的筛分作用,以压力差为驱动力,将大分子有机物、胶体、悬浮物等截留,而让小分子物质和水透过膜,从而实现有机物的分离去除。超滤膜的孔径一般在 $0.001\sim 0.1\mu\text{m}$,截留分子量范围为 $1000\sim 500000$ 。超滤过程具有无相变的特点,能耗较低,操作简单,易于实现自动化控制;对大分子有机物和胶体具有良好的去除效果,能够有效降低废水的浊度和化学需氧量(COD)。但是,超滤对小分子有机物的去除能力有限;超滤膜容易受到污染,需要定期进行清洗和维护,这不仅增加了运行成本,还会影响膜的使用寿命;超滤膜的使用寿命相对较短,更换成本较高。在工业废水处理中,超滤常用于预处理环节,或者与其他膜分离技术联用,如超滤-反渗透组合工艺,也可用于回收废水中的有用物质^[8]。

2.4.2 纳滤

纳滤技术介于超滤和反渗透之间,其膜孔径一般在 $1\sim 2\text{nm}$,截留分子量范围为 $150\sim 1000$ 。纳滤膜对不同价态离子和分子量不同的有机物具有选择性透过特性,能够去除废水中的二价及多价离子、部分小分子有机物和色度等。它对单价离子和小分子有机物也有一定的截留能力,能够有效去除水中的硬度、重金属离子和部分难降解有机物;操作压力相对较低,能耗比反渗透低;可实现对废水中有用物质的分离回收。然而,纳滤膜的制备成本较高;对进水水质要求严格,需要进行充分的预处理,否则容易造成膜污染;膜污染问题较为突出,需要定期清洗;对某些小分子有机物的去除效果有限,在实际应用中常常需要与其他方法联用;纳滤膜的使用寿命相对较短,更换成本较高。

2.4.3 反渗透

反渗透是在高于溶液渗透压的压力作用下,借助半透膜的选择截留作用,将溶液中的溶质与溶剂进行分离。反渗透膜的孔径小于 1nm ,截留分子量小于 200,能够有效去除无机盐、有机物、微生物和病毒等杂质,实现废水的高度净化。反渗透技术具有极高的脱盐率和有机物去除率,出水纯度高,能够满足工业生产对高品质水的需求,实现水资源的回收利用,减少废水排放。但是,反渗透需要较高的操作压力,这导致能耗较大;设备投资和运行成本都很高;对进水水质要求极为严格,必须进行充分的预处理,否则膜极易受到污染和损坏;膜污染是反渗透技术面临的主要挑战之一,膜污染不仅会降低膜的性能,还会增加清洗和更换成本;浓水处理难度大,处理不当容易造成二次污染,进一步增加了企业的运营负担^[9]。

3 不同有机物去除方法的比较与选择

不同的有机物去除方法都有其独特的优势、局限性以及适用范围。在实际应用过程中,需要综合考虑工业废水的水质特点(如有机物浓度、种类、可生化性等)、处理要求(如出水水质标准、处理规模等)、经济成本(包括设备投资、运行成本、维护成本等)等多方面因素,进行合理的选择。

生物处理法适用于可生化性好的中低浓度有机废水,其处理效率较高,成本相对较低,但存在占地面积大、对水质水量变化适应性差、污泥处理困难等问题;高级氧化法对难降解有机物的去除效果显著,反应速度快,但成本较高,且可能产生二次污染;活性炭吸附法适合用于深度处理,去除残留的有机物,其吸附能力强,但成本高,再生困难;膜分离法能够实现较高的出水水质,可回收水资源,但投资和运行成本高,膜易污染。此外,多种方法联合使用往往能够取得更好的处理效果。例如,“芬顿氧化+生物处理”组合工艺,先通过芬顿氧化法将难降解有机物分解为易生物降解的物质,再利用生物处理法进一步去除有机物,充分发挥了两种方法的优势;“超滤+反渗透”组合工艺,则是利用超滤进行预处理,去除大分子有机物和悬浮物,保护反渗透膜,然后通过反渗透实现废水的高度净化,提高了整体处理效率和出水水质,有助于实现工业废水零排放的目标^[10]。

4 结语

有机物的去除方法丰富多样,每种工艺都有其特定的适用场景和技术特点。通过将不同工艺的优势进行有机结合,可以构建出更加高效、低耗、低成本的零排放工艺流程。在选择具体工艺时,必须充分结合实际情况,全面考虑废水的水质特点、处理目标、运行成本等关键因素。同时,为了确保设计方案的可行性和稳定性,还应结合小试和中试的结果来指导工程化应用。

参考文献:

- [1] 王文俊.钢铁废水零排放MVR系统稳定运行影响因素研究[J].能源环境保护,2024,38(1):167-173.
- [2] 林清武.高盐废水蒸发结晶工艺优化研究[J].煤炭加工与综合利用,2020(8):55-58.
- [3] 郭洪娜,田一梅,章丽,等.反渗透膜的有机物污染试验研究[J].给水排水,2012(38):81-84.
- [4] 曹占平,张景丽.反渗透膜有机物污染及微生物清洗的研究[J].水处理技术,2008,34(2):60-62+66.
- [5] 徐曙华.活性污泥处理高盐碱减量废水研究[J].科技视界,2024,2(14):72-16.
- [6] 郝润秋,张成凯,郝亚超,等.电渗析-生物强化工艺处理高浓度高盐炼化污水工艺研究[J].清洗世界,2024,40(4):72-75+78
- [7] 刘晓晶,李俊,朱海晨,等.活性炭吸附高盐废水COD的影响因素及应用[J].应用化工,2020,49(6):1519-1522.
- [8] 李萌琳,田凤蓉,刘冠,等.煤质与木质活性炭吸附处理焦化RO浓水及再生试验研究[J].工业用水与废水,2024,55(1):65-69+85.
- [9] 杨彬,肖学权,常亮.某香精厂遗留废水应急处理的试验研究[J].给水排水,2021(37):277-280.
- [10] 周道,李培元.大孔丙烯酸树脂去除水中有机物性能的研究[J].水处理技术,1996,22(1):25-28.

作者简介:王妙婷(1992-),女,中国河北石家庄人,硕士,中级工程师,从事环境污染治理(污水处理)方面的研究。