

Exploration on the Specific Application of Advanced Oxidation Method in Industrial Wastewater Treatment

Lanlan Huang

Jiangxi Meier Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract

With the acceleration of industrial development, wastewater treatment technology is encountering unprecedented challenges, especially in the treatment of industrial wastewater containing organic pollutants that are difficult to decompose. Advanced oxidation method in the field of water treatment has a number of obvious advantages, such as can efficiently decompose a variety of organic substances, and no secondary environmental pollution, so it has been widely used in wastewater treatment. This paper discusses the application of advanced oxidation method (AOPs) in industrial wastewater treatment industry, especially the effect and mechanism of AOPs in the degradation of persistent organic pollutants (POPs) in wastewater. This paper comprehensively evaluated the performance of various AOPs technologies, including ozone oxidation, photocatalytic oxidation and Fenton process, on pollutant removal efficiency in simulated industrial wastewater treatment scenarios.

Keywords

advanced oxidation method; industrial wastewater treatment; difficult to degrade organic pollutants

探讨高级氧化法在工业废水处理中的具体运用

黄兰兰

江西美尔环保技术有限公司, 中国 · 江西 南昌 330000

摘要

伴随着工业发展的加速, 废水处理技术正遇到前所未有的挑战, 尤其是在处理含有难以分解有机污染物的工业废水方面。高级氧化法在水处理领域中具有多种明显的优势, 如可以高效地分解多种有机物质, 并无二次环境污染, 因此它在废水处理中得到了广泛应用。论文深度探讨高级氧化法 (AOPs) 在工业废水处理行业的具体应用, 尤其是分析 AOPs 在降解废水中的持久性有机污染物 (POPs) 方面的作用效能和机制。综合评价了多种 AOPs 技术, 包括臭氧氧化、光催化氧化及 Fenton 法, 在模拟工业废水处理场景中对污染物清除效能的表现。

关键词

高级氧化法; 工业废水处理; 难降解有机污染物

1 引言

高级氧化法 (Advanced Oxidation Processes, AOPs) 作为一种创新的废水处理手段, 因其可以产生具有显著氧化特性的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 的能力, 已经得到了广大研究者的瞩目。羟基自由基因其在自然界中普遍的重要化学角色而被频繁使用, 它在环境维护、食物处理和医疗研究等领域都有广泛的应用。羟基自由基表现出了卓越的反应活性, 这种活性允许其对多种有机污染物展开无差别的化学作用, 将这些有害物质转化为无害的小分子化合物, 比如二氧化碳和水。这种处理方法无需催化剂的使用, 从而可以避免产生进一步的污染, 并且它具有显著减少废水中有机物含量的能力, 因此在全球范围内被视为当前研究最为活跃的废水处理技术之一。

【作者简介】黄兰兰 (1988-), 女, 中国江西九江人, 硕士, 工程师, 从事生态修复研究。

理技术之一。本文旨在通过分析各类工业废水处理案例, 为 AOPs 技术的进一步优化和其在工业领域的运用提供科学的理论基础与实践指导。

2 高级氧化法技术概述

2.1 臭氧氧化技术

臭氧氧化方法的核心是使用臭氧 (O_3) 作为氧化载体的一种 AOPs 技术手段。臭氧不仅氧化强烈, 还具有良好的还原作用, 它可以有效地清除废水中的有机物、重金属以及氨氮等有害元素和无机阳离子。臭氧常被视作高效的氧化剂, 其氧化效果仅低于氟元素。它在水性水中能够分解形成羟基自由基, 这些自由基能与多种的有机污染物进行化学互动, 使其变为不会造成伤害的微小分子复合物。臭氧不仅能够对有机物质起到直接影响, 也可以利用化学反应作为手段对污染物进行氧化, 并且这种过程不会带来额外的污染。臭氧氧化技术所依赖的工作机制与臭氧分子的不稳定性是一

致的。臭氧对空气和水均具有出色的穿透效果，因此它在环境恢复领域得到了广泛的运用^[1]。在水溶液的条件下，臭氧分子能够自我转化为羟基自由基。这些自由基展现出强大的化学反应能力，能与水中的有机污染物产生加成、替代以及电子转移的反应，从而实现污染物的有效降解。鉴于臭氧分子自身并没有化学形态和官能团存在，因此能够通过改变臭氧分子特性来管理臭氧对有机物质的效果。臭氧不仅可以与某些有机物料发生化学作用，这种化学过程也被称为臭氧氧化反应。臭氧氧化技术被视为一种高效处理废水的方式。臭氧氧化技术在处理含有酚、农药、染料等不易分解物质的工业废水时已经得到了普遍应用。这一方法为废水的处理提供了一个对环境友善的策略。此种方法特别适宜处理那些在生物过程中显示出抑制作用的废水部分。臭氧氧化作为一种效率高、成本低且对环境有益的水处理方式，拥有很广阔的应用潜力。

2.2 光催化氧化技术

利用光作为催化剂在阳光下产生羟基自由基的 AOPs 是一种特定的光催化氧化技巧。这个方式因其高反应效率和容易进行的产物分离能力，在环境保护行业具有不可忽视的重要性。光催化剂主要由半导体构成，比如说二氧化钛 (TiO_2) 与氧化锌 (ZnO) 就是其中之一。当它们经受紫外线或可见光照射后，它们能够启动电子与空穴的配对，从而形成羟基自由基。羟基自由基的构成主要包括氧的缺乏、氢的瑕疵及氮的缺陷，这使其展现出强烈的活性特性。在光线作用下，光催化剂的价带电子会被唤醒到导带里，这进一步促成了电子和空缺空间的结合。在晶格内部，空穴以开放的形式存在，电子会在缺陷的地方侵入晶格并经历区域化，从而产生大量的空缺。这些空间具备与水分子或氢氧根离子进行化学作用的潜力，进而能够形成羟基自由基。这类自由基有可能直接对有机物进行氧化作用，或者吸附到金属氧化物的表面以实现间接氧化过程。与此同时，激发状态中的电子能够将水中溶解氧还原掉，进而生成名为超氧自由基的物质。这类自由基由于它们所展现出的高效氧化和较强的催化活性，可以被看作是一种高效且迅速的方式来去除污水中的有机物质，因此它们得到了大量的使用。具有高度活性的这种自由基能够与各种有机污染物产生连锁效应，最终转化为对环境不造成任何损伤的小分子化学物质。此外，论文还描述了一个高效降解有机污染物的创新方法，那就是光催化氧化法。当废水被添加到含有染料、农用杀虫剂、各类药品等有机污染成分时，光催化氧化这一技术展现了出色的处理效果。采用光催化技术去除有机污染源是绿色和环保的方法^[2]。特别适用于那些对传统生物处理手段具有抵抗力的污染源。因此，废水处理行业广泛地采纳了光催化技术作为一种方法。除了上述功能外，光催化技术还拥有消毒和杀菌的特点，这能有效地清除废水中的微生物与病毒。因此，在环境净化这一领域内，光催化氧化科技拥有广大的未来发展潜力。光催化氧化的核

心优势在于这种技术对环境的友善行为和相对较少的能量需求。在多数情景中，通过光催化氧化的方法有望替代传统的生化分解方式，进而显著提升污水处理设施的工作效能。但是，在实际操作环境下，确保光催化剂的分离与恢复是一大技术难题。光催化剂的反应过程是颇为繁琐的，降解有机物需要大量的能源。这导致光催化剂可能过于损耗，失去它的活性，进一步影响处理的效果和效率。现阶段，科研团队正致力于探索如何采用固定技术或者开发新的光学催化剂来应对这一挑战。紫外线降解高浓度废水处理组合设计流程如图 1 所示。

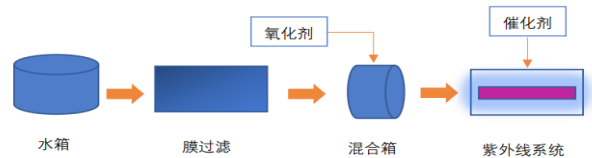


图 1 紫外线降解高浓度废水处理组合设计流程

3 高级氧化法在工业废水处理中的运用

3.1 纺织工业废水

纺织业被视为全球污染问题最为严重的行业之一，这一行业产出的废水中蕴含了大量的染料、各种添加剂和有机物，因此其环保质量是相当高的。这包括印染过程后的废水、棉纺法中的废水以及纺织厂排出的含有纤维等成分的工业废水。这种污染物不仅对生态造成损害，使用传统的方法清除它也是一个挑战。因此，探讨一种效率更高、经济更为实用的纺织品污水处理方法正在成为研究领域的焦点。高级氧化技术，特别是光催化氧化和 Fenton 方法，在处理纺织品废水上，显示出了巨大的应用空间。光催化氧化方法拥有如温和的反应环境和无进一步污染等多种好处。光催化氧化是一种高效的染料分子降解技术，该技术是通过利用半导体材料（如 TiO_2 ）在受到光照时生成具有强大氧化性的羟基自由基而实现的。利用 Fenton 法则，可以用铁离子来促进过氧化氢产生羟基自由基，这同样是一种高效去除染料和有机物的技术。论文详述了印染废水处理领域中这两种方法的最新应用状况及其所遭遇的问题。这些技术策略不只是能够降低废水的色度和化学需氧量（COD），它还可以有效减少污泥生成，进而增加废水的生物可降解性。

3.2 制药工业废水

药企的废水充满了药品残留物、抗生素及有机酸，这些元素对环境及人类健康构成了巨大的威胁。因此，高效地移除制药工业废水里面的难以生物降解的有机物质已变成当前的研究焦点之一^[3]。高级的氧化手段，尤其是臭氧氧化和 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 体系，已经被确认是在分解这些复杂有机化合物时非常有效的。臭氧与其他有机质之间有着显著的互动性。臭氧表现出优越的氧化能力，能够直接或者是间接地对废水内的有害有机成分进行氧化和矿化的处置。 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

装置利用紫外线激活过氧化氢生成羟基自由基，进而增加其氧化活性。论文概述了近几年来，在全球范围内针对臭氧催化氧化以及其在医药废水处理方面所做的研究进展。这些前沿的氧化技术不仅能够高效地清除制药废水的有机污染成分，同时也能降低废水中的有毒物质及其生物抑制效果，从而为后续的生物处理项目提供一个良好的运行环境。传统 Fenton 系统如图 2 所示。

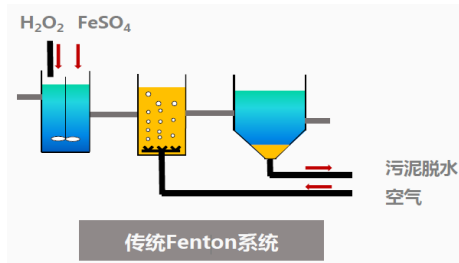


图 2 传统 Fenton 系统

3.3 食品加工废水

食品的加工流程中产生的污水含有高质量的蛋白、脂肪及碳水化合物，这些元素在污水中容易发生氧化，从而引发废水的恶臭和过度营养。现在，食品加工废水的去除大多依赖于物理方法，但是这种传统的处理策略面临着能源消耗高、效益低下以及进一步严重的二次污染这些问题。如超临界水氧化 (SCWO) 和光催化氧化的高级氧化技术，为处理食品处理产生的污水开辟了一个全新的途径。超临界水被认为是特殊的介质种类，它能诱导水中众多的化学成分经历多种物理和化学的转变，从而形成对应的化学物质。在高温和高压的条件下，超临界水被氧化，利用水的超临界状态实现氧化，这种方法能够迅速地把有机化合物转化为对人体无害的微小分子，如 CO_2 和 H_2O 。光催化氧化技术的工作原理是通过应用光的能量来激活催化剂，从而产生羟基自由基，这个过程能有效地将废水中的有机污染源进行分解。目前，这两种方法在众多的废水处理应用领域中已获得广泛使用。这些先进的技术方法不仅有效地去除了废水的有机成分，还有助于降低废水产生的不良气味和减少泡沫，从而提升废水

的感觉体验。

3.4 电子工业废水

电子工业所产出的废水含有重金属离子、有机污染以及有腐蚀性的元素，这些都给环境以及人类的健康带来了严重威胁。由于电子工业废水含有大量的有机物质和不易分解的物质，因此为了满足排放标准，需要对多种处理方式预先处理。使用传统的物理和化学方法处理这些污染物时往往效果并不理想。因此，研发一种高效且经济的处理方法显得至关重要^[4]。高级氧化处理方法，尤其是 Fenton 技术与 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 体系，为电子工业废水的处理带来了实用而高效的策略。通过使用 Fenton 方法，可以高效地通过形成羟基自由基进行重金属离子的氧化与沉淀。此外，它还具有降解有机污染物质的潜能。 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 技术系统，通过紫外线结合过氧化氢，增强了其氧化能力，从而在废水中高效地去除了重金属和其他有机元素。在最近的几年内，伴随着各式新型氧化剂和废水深度处理技术的持续创新和研究，工业用水处理领域内的高级氧化手段正变得日益普及。这些建议的氧化工艺不只能增强废水处理效能，同时也能在废水处置时大大降低二次污染。

4 结语

综上所述，高级氧化技术由于其显著的效率、低能耗和不产生再次污染的环境特性，获得了众多的关注并已经取得了显著的进展。经过不断的创新和调整，AOPs 有潜在的能力被认为是应对工业废水污染的关键路径之一。

参考文献

- [1] 张立果.高级氧化技术在工业废水处理中的运用探析[J].资源节约与环保,2022(5):4.
- [2] 周俊豪.高级氧化法在焦化废水处理中的应用研究进展[J].煤化工,2023,51(5):62-65.
- [3] 白立军.高级氧化技术在工业废水处理中的研究应用[J].山东工业技术,2019(22):28.
- [4] 李同默.高级氧化技术在工业废水处理中的应用效果分析[J].中国科技投资,2019(14):257.