

# Progress in Treating Antibiotics in Wastewater by Photocatalytic Oxidation Technology

Ping Zhang

Shandong Agricultural University, Taian, Shandong, 271000, China

## Abstract

The flood of antibiotics in water bodies has been the focus of environmental problems in recent years. Photocatalytic oxidation technology has been paid attention to by researchers due to its high efficiency, environmental protection and ability to operate at room temperature, and has shown great application potential in wastewater treatment. This paper focuses on the treatment of antibiotic contaminated wastewater on photocatalytic oxidation technology. By comparing the treatment effect of different photocatalytic oxidation methods on antibiotics in wastewater, it analyzes the principle and effect, and discusses the problems and future development trends of various methods. Composite photocatalyst, photocatalysis, photoFenton and other new modes of action mechanism have been introduced, and the treatment effect has been greatly improved compared with the traditional methods. However, it still faces by-products and recycling and reuse of photocatalysts. Further research and exploration are needed to solve these problems and further optimize the design.

## Keywords

photocatalytic oxidation technology; wastewater treatment; antibiotic contamination; compound photocatalyst; light-Fenton

# 光催化氧化技术处理废水中抗生素的研究进展

张萍

山东农业大学, 中国·山东 泰安 271000

## 摘要

水体中抗生素的泛滥是近年来环境问题的关注重点。光催化氧化技术因其高效、环保、能够在室温下进行操作等优点而逐渐被研究者所重视,并在废水处理中表现出极大的应用潜力。论文主要将抗生素污染废水治理的焦点放在了光催化氧化技术,通过对比研究不同光催化氧化方法对废水中抗生素的处理效果,深入解析其原理和效果,并探讨了各种方法存在的问题和未来发展趋势。复合光催化剂、光电催化、光-Fenton等新型作用机理的模式被引进,其处理效果相较传统方法有了较大提升。但仍面临着易产生副产品、光催化剂的回收和再利用等问题。在解决这些问题和不断优化设计上,需要进一步研究和探索。

## 关键词

光催化氧化技术; 废水处理; 抗生素污染; 复合光催化剂; 光-Fenton

## 1 引言

随着社会的进步和发展,医疗保健的重要性备受关注,而抗生素作为最重要的药物之一,其在净化水体中的重要性不言而喻。然而,如何处理和清除水体中的抗生素污染逐渐成了环保领域急需解决的重大问题,且因此引发了广泛关注和深入研究。特别是光催化氧化技术因其独特优势正在逐渐走入公众视野,被广泛应用在处理抗生素废水领域。光催化氧化技术具有高效、环保、能在室温下操作等优点,有效地解决了传统方法中存在的种种问题如产生副产品多、处理效率低等问题,且具有巨大的实际应用潜力。然而,这一

技术仍然面临着不少困扰,如光催化剂的回收和再利用等问题任重道远。因此,对光催化氧化技术进行进一步改进和优化设计并研究其在处理废水中抗生素方面的新方法极其重要。本论文将重点探讨光催化氧化技术处理废水中抗生素的研究进展,并将对比分析不同光催化氧化方法在处理废水中抗生素方面的效果,全面探讨该领域的问题及走向。通过这个研究,我们期待为防治水体中抗生素污染、提高废水处理效率以及保护环境安全提供新的思路和方法。

## 2 抗生素污染废水的现状与问题

### 2.1 废水中抗生素的来源与危害

抗生素作为广泛用于人类和动物疾病治疗的重要药物,其在水环境中的污染问题日益突出<sup>[1]</sup>。废水中抗生素的来源主要包括医药生产废水、医院废水、畜禽养殖废水以及生活

【作者简介】张萍(1976-),女,中国山西介休人,硕士,讲师,从事水环境污染控制及水生态修复研究。

污水。医药生产过程中, 抗生素原料药和制剂生产废水常常含有高浓度的抗生素残留和中间体。医院废水由于医治病患过程中的使用和排放, 常含有多种抗生素成分。畜禽养殖业为了预防疾病和促生长, 通常大量使用抗生素, 这些抗生素通过动物排泄物进入环境。生活污水中的抗生素主要来自家庭使用药品后的人体排泄以及洗漱废水。

抗生素进入水体后, 由于其化学性质稳定、难降解, 表现出较长的环境持久性, 很容易在环境中累积, 并通过食物链传递, 最终影响人体健康。抗生素在水环境中的循环不仅直接危害水生生物, 导致生态系统失衡, 还通过潜在的抗性基因传播助长了抗生素耐药性问题, 进而威胁公共健康。耐药性病菌通过环境介质与人类接触, 可造成常规治疗失效, 增加治疗难度和费用, 严重时甚至会引发无法治愈的感染, 带来巨大的社会和经济负担。

综合而言, 废水中抗生素的问题不仅仅是一个单纯的污染问题, 它涉及环境、生态、健康多个层面, 并具有长远的风险。研究和发展的有效废水处理技术, 降低抗生素污染, 具有重要的现实意义和紧迫性。光催化氧化技术因其高效、环保的特点被寄予厚望, 成为抗生素废水处理研究的重要方向。

## 2.2 抗生素在环境中的迁移转化与影响

抗生素在环境中的迁移转化复杂多样, 主要受到环境条件和抗生素本身性质的影响。抗生素在进入水体后, 通过淋溶、降解、吸附和挥发等途径进行迁移转化。水体中的pH值、温度、紫外线强度以及氧化还原环境等因素, 都会显著影响抗生素的稳定性和降解速率。光照可导致某些抗生素发生光解反应, 而氧化新陈代谢过程能够部分降解这些污染物。抗生素在土壤微生物的作用下可能产生耐药菌株, 进而通过食物链和水循环对生态系统和人类健康造成潜在威胁。抗生素的持久性和生物积累特性, 会使其在环境中长期存在, 对水生生物的生长和繁殖、生态功能和生物多样性产生不利影响。理解抗生素在环境中的迁移转化过程, 对于制定有效的污染控制措施具有关键意义。

## 2.3 抗生素废水处理技术的现有研究进展

抗生素废水处理技术的研究进展主要集中在生物处理、物理化学处理和高级氧化处理三大类<sup>[2]</sup>。生物处理技术包括好氧和厌氧微生物降解, 但其效率常受限于抗生素的抗菌特性。物理化学处理方法如吸附、膜分离等, 尽管能够有效去除抗生素, 但存在操作复杂和成本较高的问题。高级氧化技术(AOPs)如臭氧氧化、过硫酸盐催化, 由于其能产生高活性的氧化剂, 可以高效降解抗生素, 但是对处理条件要求较高。各类技术在抗生素去除方面均有不同表现, 但仍面临着效率、成本和广谱适用性的挑战。

# 3 光催化氧化技术在废水处理中的应用

## 3.1 光催化氧化技术基本原理与特点

光催化氧化技术利用半导体材料在光照条件下产生的

光生电子和空穴, 激发生成具有强氧化作用的活性物种, 如氢氧自由基和超氧离子, 从而降解复杂的有机污染物。这一过程主要依赖于光催化剂的特性及其在光照下的能带结构<sup>[3]</sup>。常见的半导体光催化材料包括二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)、氧化锌(ZnO)等。这些材料在紫外光或可见光的激发下, 可以有效地生成光生电子-空穴对。

光催化氧化技术具有高效、环保的特点, 不需要添加化学药剂, 反应条件温和, 适合在常温常压下进行。由于其强氧化性, 能够彻底降解多数有机污染物, 而不是简单地转移或集中处理。这对于处理结构复杂、难降解的抗生素废水而言尤为重要, 能够将抗生素分解为无害的小分子物质或彻底矿化为二氧化碳和水。

光催化氧化技术也面临一些挑战。光催化剂的吸光范围和光效率是制约其应用的关键因素。大多数光催化剂仅在紫外线范围内有效, 这限制了其在可见光条件下的应用。光催化剂的回收与再利用难度较大, 常常需要复杂的分离和纯化过程, 这在实际应用中增加了处理成本和操作复杂性。

光催化氧化技术的应用前景广阔, 通过不断改进光催化材料和优化反应条件, 有望在废水处理领域发挥更重要的作用。目前的研究方向包括开发新型复合光催化材料、提高光催化剂的可见光响应能力及探索催化剂的回收与再利用技术。这些进展有助于提升废水处理的整体效率, 为实现更环保和经济的水处理方法提供新的可能。

## 3.2 应用光催化氧化技术处理抗生素污染废水的方法与效果

应用光催化氧化技术处理抗生素污染废水的方法主要包括两类: 单一光催化剂系统和复合光催化系统。单一光催化剂系统中, 常用的光催化剂如TiO<sub>2</sub>、ZnO等, 能够在紫外光或可见光照射下, 产生强氧化性自由基, 如羟基自由基、超氧化物离子, 能够有效降解抗生素。复合光催化系统则通过引入其他材料, 如贵金属或金属氧化物, 提升光催化剂的光吸收范围和电子迁移效率, 增强其处理效果。近年来, 光电催化和光-Fenton反应方法在添加电场或引入Fe<sup>2+</sup>催化剂的基础上, 进一步提升了光催化氧化的效果。这些方法在实验室研究中显示出了75%~99%的去除率, 但实际应用仍面临效率不稳定、副产物生成及催化剂回收等挑战。

## 3.3 光催化氧化技术的优缺点及存在问题

光催化氧化技术在处理抗生素污染废水中展现了显著的优势, 包括高效去除污染物、操作简便、环境友好等。该技术也存在一些局限性和挑战。易产生副产品的问题可能会带来二次污染, 光催化剂的回收与再利用成本较高且操作复杂。光催化剂在反应过程中可能会发生失活, 影响处理效率。解决这些问题需要深入研究光催化剂的稳定性、提升回收再利用效率, 以及改善对副产品的控制, 以推动光催化氧化技术在废水处理中的进一步应用。

## 4 光催化氧化技术在抗生素废水处理中的新进展及展望

### 4.1 复合光催化剂的研究进展及应用

近年来,复合光催化剂在抗生素废水处理中的研究取得了显著进展。这类催化剂通过将多个功能材料结合,增强了光催化性能,提高了对抗生素分子的降解效率。其中,金属氧化物、贵金属纳米颗粒和碳材料等作为主要成分,通过形成异质结或复合结构,实现了有效的电子-空穴分离,减缓了电荷复合率,从而提升了光催化反应的活性。

复合光催化剂在降解抗生素污染物方面的应用表现出色。例如,以 $\text{TiO}_2$ 和 $\text{ZnO}$ 为基底,掺杂 $\text{Ag}$ 、 $\text{Au}$ 等贵金属,形成了高度活性的复合材料。贵金属的引入不仅促进了光生电子的传输,还增加了光吸收的范围,显著提高了抗生素的降解效率。碳基材料,如石墨烯和碳纳米管,与传统光催化剂复合,通过良好的导电性和高比表面积,提高了催化剂的整体活性和稳定性,进一步提升了废水处理的效率。

尽管复合光催化剂在实验室中展示了优异的性能,但在实际应用中仍面临许多挑战。例如,催化剂的长期稳定性、可重复使用性,以及在复杂水质条件下的实际降解效率等问题,都需要进一步的研究和优化设计。降低催化剂的制备成本,提升其经济性和环境友好性,也是未来研究的重要方向。

总体而言,复合光催化剂在抗生素废水处理中显示了良好的应用前景。但其实际推广与应用仍需攻克多方面的技术难题,这要求持续的科研投入和跨学科的协同创新,以期实现高效、经济、环保的废水处理解决方案。

### 4.2 光电催化与光 Fenton 反应在抗生素废水处理中的应用

光电催化与光 Fenton 反应在抗生素废水处理中的应用表明了其在提升处理效率方面的显著优势。光电催化结合了光照和电化学的协同作用,通过光生电子与空穴分离的方式,有效减少了光生载流子的复合,提高了抗生素降解效率。一些研究已证明,通过调整光电催化剂的结构和材料组合,如引入半导体材料及贵金属纳米颗粒,可以显著提高对抗生素的降解性能。不仅如此,光电催化还能在较低的操作电压下实现高效降解,具有广泛应用前景。

光 Fenton 反应则结合了光催化和传统 Fenton 试剂,通

过光激发产生更多的 $\cdot\text{OH}$ 自由基,提高了降解速率。研究发现,过渡金属的纳米颗粒与光催化剂的复合使用,不仅增加了光吸收范围,还加快了光生电子的转移效率,显著提升了抗生素的降解效果。光 Fenton 反应的实际应用仍面临铁离子回收利用及系统复杂性等挑战,需要进一步优化和研究。总体而言,这些新进展为抗生素废水处理提供了新的思路和技术手段。

### 4.3 未来发展趋势与研究方向

针对光催化氧化技术在抗生素废水处理中的应用,未来发展趋势与研究方向包括优化光催化剂性能、开发具有高效回收和重复利用能力的光催化剂、引入新型复合催化系统、解决副产品生成问题以及推动技术的工业化应用。

## 5 结语

论文以光催化氧化技术在处理废水中抗生素污染方面的应用为研究重点,通过对比和分析不同光催化氧化方法对抗生素污染废水的处理效果,深入探讨了光催化氧化技术的原理和作用效果。同时,论文引入了新型光催化剂、光电催化和光-Fenton 等作用机制模式,提高了处理抗生素污染废水的效果。然而,目前在光催化氧化处理废水中抗生素的研究和应用中,仍存在一些亟待解决的问题,如副产品生产、光催化剂回收再利用等方面。针对这些问题,未来研究可以进一步加强光催化剂的设计改进,提升光催化活性、稳定性和再利用性,以实现更高效、环保的废水处理。这些研究努力将为废水处理行业提供新的技术手段和理论支持,有助于降低处理成本,提高处理效率,并为保护环境安全和资源再利用贡献力量。总之,光催化氧化技术在处理抗生素污染废水方面具备巨大潜力和广阔前景。论文的研究成果和分析对于推动光催化废水处理技术的发展具有重要意义,也为后续相关研究提供了有益借鉴。

### 参考文献

- [1] 刘发强,黄蕾,夏培蓓,等.光催化技术降解工业废水中抗生素的研究[J].清洗世界,2021,37(1):36-37.
- [2] 徐峰,方小青,马超峰,等.光催化技术处理抗生素废水的研究进展[J].浙江化工,2021,52(5):37-40.
- [3] 郭鹏飞,曾旭,姚国栋,等.催化湿式氧化技术用于抗生素废水处理的研究进展[J].河南化工,2020,37(2):1-3.