

The Application of Advanced Oxidation Technology in Treatment of Medical Wastewater Was Discussed

Yanyan Qi¹ Wanrong Zhang²

1. Yunnan Xianfeng Coal Industry Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 655200, China

2. Dali Fengshun Medical Waste Disposal Co., Ltd., Dali, Yunnan, 671000, China

Abstract

with the continuous progress of medical technology and the increasingly frequent medical activities, the production of medical wastewater is also increasing year by year. medical wastewater contains a variety of harmful substances, such as antibiotics, endocrine disruptors, pathogenic microorganisms etc, if these substances are discharged directly into the environment without treatment, it will cause serious threats to the ecological environment and human health. Therefore, how to treat medical wastewater efficiently and safely has become a topic that needs to be focused on in the field of environmental protection. In this paper, the application principle of advanced oxidation technology is analyzed, and some effective treatment methods are put forward in order to promote the process of ecological civilization construction in China.

Keywords

advanced oxidation technology; medical wastewater treatment; apply; effective strategy

探讨高级氧化技术在医疗废水处理中的应用

齐焱焱¹ 张婉蓉²

1. 云南先锋煤业开发有限公司, 中国·云南 昆明 655200

2. 大理丰顺医疗废物处置有限公司, 中国·云南 大理 671000

摘 要

随着医疗技术的不断进步和医疗活动的日益频繁, 医疗废水的产生量也在逐年增加。医疗废水中含有多种有害物质, 如抗生素、内分泌干扰物、病原微生物等, 这些物质如果未经处理直接排放到环境中, 将会对生态环境和人类健康造成严重的威胁。因此, 如何高效、安全处理医疗废水已成为当前环境保护领域需要重点关注的议题。论文通过深入研究分析了高级氧化技术的应用原则, 提出了几点有效的处理方法, 以期能够推动中国生态文明建设的进程。

关键词

高级氧化技术; 医疗废水处理; 应用; 有效策略

1 引言

传统的医疗废水处理方法主要包括物理法、化学法和生物法等, 这些方法在一定程度上能够实现废水的净化, 但往往存在处理效率低、处理时间长、二次污染等问题。为了克服这些局限性, 高级氧化技术应运而生, 高级氧化技术是一种利用强氧化剂或特定的反应条件, 产生具有极高氧化能力的自由基或氧化剂, 从而迅速降解有机污染物的技术。这种技术具有处理效率高、反应速度快、无二次污染等优点, 因此在医疗废水处理中得到了广泛应用。

2 高级氧化技术在医疗废水处理中应用的优势

2.1 速度快、效率高

高级氧化技术的速度快、效率高, 体现在其对有机污染物的快速降解上。相较于传统生物处理方法, 高级氧化技术可在极短时间内实现污染物的转化和去除, 大幅缩短了废水处理周期^[1]。同时, 这种技术对水质变化的适应性较强, 能够在广泛的 pH 值和温度范围内发挥作用, 进一步提高了处理效率。其次, 高级氧化技术之所以具有极快的反应速率, 主要源于其所利用的羟基自由基的强氧化能力。羟基自由基是一种高活性的氧化剂, 其氧化能力仅次于氟元素, 远高于其他常见氧化剂如臭氧、过氧化氢等。高级氧化技术能够快速降解医疗废水中的各种有机污染物, 使其在数分钟内就可被完全矿化为二氧化碳和水等无害小分子。

高级氧化技术在废水处理中的作用见图 1。

【作者简介】齐焱焱 (1990-), 男, 中国河南睢县人, 本科, 从事矿山环境保护管理与生态恢复治理相关研究。

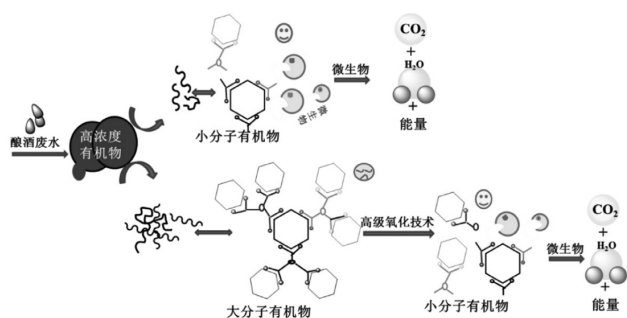


图1 高级氧化技术在废水处理中的作用

2.2 适用范围

首先，高级氧化技术能够有效应对医疗废水中种类繁多的有机污染物。由于医疗行业的特殊性，废水中的有机污染物种类繁多，包括抗生素、消毒剂、显影剂等。高级氧化技术通过产生具有强氧化性的羟基自由基，能够将这些有机污染物降解为无害的小分子物质，从而提高废水的生物降解性。其次，高级氧化技术对病原体的去除效果显著。医疗废水中含有大量病原体，如细菌、病毒等，对环境和人体健康构成严重威胁。高级氧化技术中的强氧化剂能够破坏病原体的细胞壁和遗传物质，从而达到灭活的效果，降低废水排放对环境和人体的危害。最后，高级氧化技术在处理医疗废水中的重金属污染方面也具有优势。重金属离子在自然环境中难以降解，易在生物体内积累，对人体健康产生慢性毒性，高级氧化技术通过氧化还原反应，能够将重金属离子转化为不溶于水的沉淀物，从而去除废水中的重金属离子。

2.3 可控性好

首先，高级氧化技术可精准控制氧化剂投加量。例如，在臭氧氧化、 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 氧化等技术中，可以根据废水污染物浓度和性质，精确调节臭氧或过氧化氢的投加量，避免过量或不足，从而最大限度地发挥氧化剂的作用，提高处理效率。其次，可调节辐射强度。对于光化学类高级氧化技术，可以通过优化光源类型、布置方式和功率，精准控制辐射强度，从而调节羟基自由基的产生速率，优化反应条件。再次，可选择和优化催化剂。在光催化氧化和电化学氧化技术中，可以根据废水特性选择最佳的催化剂种类、用量和形态，如光催化剂的晶体结构、比表面积，或电极材料的种类，从而最大限度地发挥催化作用，提高处理效率。最后，可与其他技术耦合。高级氧化技术可以与生物处理、膜分离等其他技术相结合，形成复合工艺体系，充分发挥各技术的优势，提高整体可控性和处理效率。

3 高级氧化技术在医疗废水处理中应用的原则

3.1 全过程控制原则

在医疗废水处理过程中，全过程控制原则要求在高级氧化技术的每个环节都进行严格把控，从投加药剂、控制反应条件到最终处理效果评估，全程实施精细化管理^[2]。

首先，在投加氧化剂的环节，需要根据医疗废水的具

体情况，精确计算并控制氧化剂的投加量。过量投加不仅会导致资源浪费，还可能产生二次污染；而投加不足则会影响处理效率。因此，必须建立完善的在线监测系统，实时监控废水的污染物浓度变化，并根据监测数据动态调节氧化剂的投加量。

其次，在反应过程中，需要严格控制各项反应条件，以确保反应的高效进行。例如，在 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 氧化技术中，需要精准控制UV辐射强度，并优化光源布置，最大限度利用辐射能量；在光催化氧化技术中，需要优化催化剂的用量、形态和分散性，发挥最佳催化活性。同时，还应当监测并适时调节反应温度、pH值等参数，创造最佳反应环境。

最后，需要关注排放过程中的环境风险评估。经过高级氧化技术处理的医疗废水，虽然有害物质已得到降解，但仍然需要对其排放过程中的环境风险进行评估。这包括对处理后的废水进行检测，确保其达到国家相关排放标准，并对周边环境进行长期监测，防止潜在的环境污染问题。

3.2 量化处理原则

首先，量化处理原则有助于提高高级氧化技术的处理效果。在医疗废水处理过程中，通过精确量化污染物浓度、氧化剂投加量、反应时间等关键参数，可以实现对处理过程的精准调控。此外，借助现代分析仪器，如高效液相色谱、气质联用等，对处理前后的废水进行实时监测，以确保污染物得到有效降解。在此基础上，可通过对处理数据的分析，不断优化反应条件，提高处理效果。

其次，量化处理原则有助于降低高级氧化技术的运行成本。在医疗废水处理中，氧化剂的投加量与处理成本密切相关。通过精确量化氧化剂的需求量，可以避免过量投加，降低处理成本。同时，通过对处理过程中能耗的量化评估，可以寻找节能减排的潜在途径，进一步降低运行成本。

最后，量化处理原则还有助于保障高级氧化技术的环境安全性。在医疗废水处理过程中，部分氧化剂和降解产物可能对环境产生负面影响。通过对这些物质的生成量、迁移途径和生态风险进行量化评估，可以采取相应措施降低其对环境的潜在危害。

4 在医疗废水处理中几种常见的高级氧化技术

4.1 催化臭氧氧化法

催化臭氧氧化法是在传统臭氧氧化的基础上引入催化剂，通过协同催化作用提高臭氧分解效率，促进羟基自由基的生成，从而增强对污染物的氧化降解能力。与单纯的臭氧氧化相比，催化臭氧氧化具有反应速率快、矿化度高、适用pH范围广等优点，可显著提高医疗废水的处理效果^[3]。

第一，臭氧在催化剂表面发生吸附和分解，生成具有强氧化性的 $\cdot\text{OH}$ 和超氧自由基($\cdot\text{O}_2^-$)，这些活性物种进攻废水中的有机污染物，使其发生断链、开环等一系列氧化反应，最终实现污染物的无害化。常用的臭氧催化剂包括金

属氧化物（如 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO_2 等）、贵金属（如 Pt 、 Pd 、 Ru 等）、金属离子（如 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} 等）和多相复合材料等。不同催化剂在催化臭氧氧化反应中的作用机制不尽相同，但均能有效促进 $\cdot\text{OH}$ 的生成，加速污染物的矿化进程。

第二，催化臭氧氧化法处理医疗废水的效果受多种因素影响，如 pH 值、温度、臭氧投加量、催化剂种类和用量等。 pH 值影响臭氧在水中的分解和 $\cdot\text{OH}$ 的生成，一般认为碱性条件有利于提高催化臭氧氧化效率。提高反应温度可加快臭氧分解和污染物氧化的速率，但过高的温度会导致臭氧自分解加剧，降低利用率。臭氧投加量的增加可提高 $\cdot\text{OH}$ 生成量和污染物去除率，但过量的臭氧会产生自由基淬灭效应，反而降低处理效果。催化剂的选择和优化是催化臭氧氧化工艺的关键，应综合考虑催化活性、稳定性、成本等因素，筛选出性能优异的催化材料。

废水处理应用臭氧氧化技术的机理见图 2。

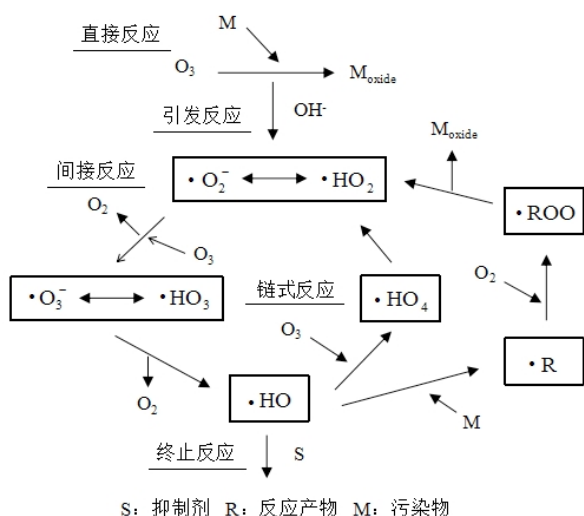


图 2 废水处理应用臭氧氧化技术的机理

4.2 超临界水氧化法

超临界水氧化法通过利用水在超临界状态（温度 $>374^\circ\text{C}$ ，压力 $>22.064\text{MPa}$ ）下的独特物理化学性质，通过与氧气的反应实现对有机污染物的氧化分解。在超临界条件下，水的密度、介电常数、离子积等性质发生显著变化，有机物的溶解度和反应活性大幅提高。这一过程中会产生大量的强氧化性自由基，如 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}^2$ 等，从而大幅提高对污染物的去除效率。超临界水氧化法具有反应活性高、能耗低廉、污染物转化彻底等优势。其次，超临界水氧化法在医疗废水处理

中的应用主要针对以下几类难降解污染物：一是抗生素类，超临界水氧化法对四环素、氨苄西林等抗生素具有极高的去除效率，能够实现 99% 以上的去除率。二是消毒剂类，超临界水氧化法对甲醛、苯酚等常见医疗消毒剂也表现出优异的处理能力。三是化学药品类，超临界水氧化法可以高效降解阿司匹林、布洛芬等医疗化学药品。此外，SCWO 技术还可以有效去除医疗废水中的重金属离子，如汞、铅等，实现污染物的全面治理。

4.3 光催化氧化法

光催化氧化法是高级氧化技术中的一种，其工作原理是利用半导体光催化剂（如 TiO_2 、 ZnO 等）在光照条件下产生强氧化性自由基，进而实现对有机污染物的氧化分解^[4]。这一过程通常包括以下几个步骤：一是光生电子—空穴对的产生，当半导体光催化剂吸收足够能量的光子时，价带电子被激发跃迁到导带，产生电子—空穴对。二是自由基的生成，光生电子—空穴对发生氧化还原反应，与吸附在催化剂表面的水分子、氧气等物质反应，产生强氧化性自由基，如 $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}^2$ 等。三是有机污染物的氧化分解，这些强氧化性自由基能够有效攻击并分解医疗废水中的有机污染物，实现其矿化。与传统的化学氧化技术相比，光催化氧化法具有诸多优势。首先，光催化剂表面产生的强氧化性自由基能够有效攻击并分解有机污染物。其次，光催化氧化法可利用太阳光或人工光源，无需额外投加化学氧化剂，大幅降低了能耗成本。最后，光催化氧化法在处理过程中不会产生二次污染，反应产物仅为 CO_2 和 H_2O ，实现了绿色环保。

5 结语

综上所述，高级氧化技术在医疗废水处理中的应用具有重要意义。在当前环保意识不断提高的背景下，这一技术为实现医疗废水的高效、绿色处理提供了新思路。然而，要充分发挥其优势，还需不断优化和改进。相信随着科研水平的提升，高级氧化技术将在医疗废水处理领域发挥更大的作用，为保护生态环境和人类健康作出贡献。

参考文献

- [1] 陈卓. 简述医疗废水处理中高级氧化技术应用[J]. 清洗世界, 2022, 38(10): 81-83.
- [2] 钱如意. 负载型氧化钨活化含过氧键化合物降解异烟肼的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2020.
- [3] 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): 100-102+109.
- [4] 洪爽. 试论废水处理中高级氧化技术的应用[J]. 资源节约与环保, 2020(12): 92-95.