

# 改进 Fenton 氧化法处理纺织废水的效能研究

龚建先

恒天（江西）纺织设计院有限公司 江西南昌 330000

**【摘要】**随着工业化进程的加速，纺织工业在为全球经济做出巨大贡献的同时也带来了严重的环境污染问题，尤其是纺织废水的排放。这些废水中含有大量的染料、助剂、重金属等有害物质，对水体生态系统和人类健康构成威胁。因此，开发高效、环保的纺织废水处理技术显得尤为迫切。Fenton氧化法，作为一种高级氧化技术，因其对有机物的高效降解能力而备受关注。然而，其处理效能受到诸多因素影响，如反应条件、催化剂性能等，需要进一步优化和改进。

**【关键词】**改进；Fenton氧化法；处理；纺织废水；效能研究

Study on the efficiency of improved Fenton oxidation method

Gong jianxian

Hengtian (Jiangxi) Textile Design Institute Co., LTD Nanchang, Jiangxi 330000

**【Abstract】** With the acceleration of the industrialization process, the textile industry has made a great contribution to the global economy and has also brought serious environmental pollution problems, especially the discharge of textile wastewater. These wastewater contain a large number of dyes, additives, heavy metals and other harmful substances, which pose a threat to the water ecosystem and human health. Therefore, it is particularly urgent to develop an efficient and environmentally friendly textile wastewater treatment technology. Fenton Oxidation method, as an advanced oxidation technology, has attracted much attention because of its efficient degradation ability of organic matter. However, its treatment efficiency is affected by many factors, such as reaction conditions and catalyst properties, which need to be further optimized and improved.

**【Key words】** improvement; Fenton oxidation method; treatment; textile wastewater; efficiency research

## 一、引言

纺织废水处理构成了全球环境科学领域的一项重大挑战。传统的处理技术通常无法彻底清除废水中含有毒性的有害有机物。近年来，Fenton 氧化法因其高效和灵活性，在处理这类废水方面显示出巨大的潜力。该方法通过生成具有强氧化性的羟基自由基，能够分解大部分有机污染物，从而实现废水的深度净化。然而，Fenton 法的反应效率受到初始化学剂量、pH 值、反应时间等多种因素的影响。因此，对 Fenton 氧化法进行优化，并探索新的改良策略，变得尤为关键。



图1 Fenton 氧化技术处理装置

莱赛尔废水相对粘胶废水来说，主要有以下特点：

(1) 总产量比粘胶小，总水量低于粘胶工厂产生的废水；

(2) 粘胶废水具有盐分高、温度高、酸性高等特点，但处理方案较为成熟；

(3) 莱赛尔废水水量相对粘胶小，但含 NMMO 废水较难处理，其 COD 高、总氮高、色度高，可生化性非常差，非常难处理，通常经过预处理，以保证后续生化系统的效果。

Fenton 试剂利用过氧化氢与亚铁离子反应产生具有强化能力的羟基自由基 ( $\cdot\text{OH}$ )，用于氧化水中难分解的有机物。

亚铁离子氧化成铁离子 ( $\text{Fe}^{3+}$ )，铁离子有混凝作用，可用于去除部分有机物。普通芬顿法即以亚铁盐作为催化剂与双氧水进行氧化反应用以处理废水。Fenton 化学氧化的主要原理是外加的  $\text{H}_2\text{O}_2$  氧化剂与  $\text{Fe}^{2+}$  催化剂，两者在酸性 (一般 pH 在 4 以下) 条件下会反应产生  $\cdot\text{OH}$  (羟基自由基)。

$\text{OH}$  具有较强的氧化能力，可无选择氧化水中的大多数有机物，特别适用于生物难降解或一般化学氧化难以处理的有机废水的氧化处理，与废水中的有机物反应，分解氧化有机物破坏成二氧化碳和水，进而降低废水中生物难分解的 COD。

## 二、Fenton 氧化法的效能分析

### 2.1 Fenton 氧化法的反应机制

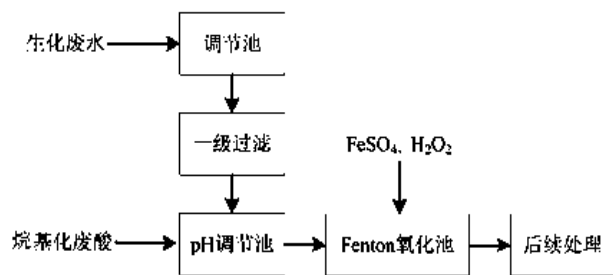


图2 Fenton 氧化法

Fenton 氧化法因其卓越的有机物降解效率和对环境的友好性，已成为纺织废水处理领域备受关注的研究热点。该技术的核心在于运用亚铁离子作为催化剂，借助过氧化氢生成具有强氧化性的羟基自由基，从而破坏水中的有毒有害有机污染物。研究显示，羟基自由基的氧化力极为强大，其氧化还原电位高达 2.8V，能够有效地分解众多有机化合物，

包括难以降解的染料和有毒化学物质，例如苯胺、甲苯等。

Fenton 氧化法的反应效率受多种因素的影响，包括初始 pH 值、 $\text{Fe}^{2+}$  浓度、 $\text{H}_2\text{O}_2$  的添加量以及反应温度等。当 pH 值维持在 3-5 的区间时，亚铁离子的催化活性达到最高，过氧化氢更易于生成羟基自由基。

为了进一步提升 Fenton 氧化法的性能，研究人员进行了广泛的改性研究。例如，通过材料科学的方法对催化剂进行改性，使用磁性纳米材料、金属有机框架等，以增强其催化活性和稳定性。此外，通过调整反应条件，如反应时间、温度，并结合紫外线、超声波等辅助技术，可以进一步提高氧化效率，实现对纺织废水的深度处理和资源化利用。

### 2.2 影响 Fenton 氧化法效能的主要因素

Fenton 氧化法因其卓越的有机物降解能力和对环境的友好性，已成为纺织废水处理领域的一项关键技术。该技术的核心在于通过过氧化氢与铁离子的协同作用，生成具有强氧化性的羟基自由基，进而有效分解水中的有害有机污染物。然而，Fenton 氧化法的效能受到多种因素的共同影响，包括初始 pH 值、过氧化氢的投加量、反应时间以及铁离子的浓度等。

研究指出，初始 pH 值对 Fenton 反应的影响尤为显著。在酸性条件下 (一般 pH 值维持在 3-4 范围内)，铁离子主要以二价形态存在，这有助于更高效地催化过氧化氢生成羟基自由基。例如，在处理染料废水的实验中，当 pH 值从 3 调整至 5 时，羟基自由基的生成速率下降了大约 40%。

过氧化氢的投加量同样是影响 Fenton 氧化法效能的关键因素。过量的过氧化氢可能会与铁离子直接反应，形成无活性的氢氧根，从而降低氧化效率；而过少的过氧化氢则可能无法充分激发 Fenton 反应。根据 Wang 和 Li (2019) 的研究，对于特定类型的废水，过氧化氢与铁离子的最佳摩尔比通常介于 3:1 至 5:1 之间。

此外，反应时间的控制也极为关键。在达到一定的反应时间后，继续延长反应时间可能无法显著提高处理效果，反而会增加能耗。例如，在处理某纺织废水的案例中，前 60 分钟内 COD 去除率迅速提升，但随后的 60 分钟内提升幅度

则明显减缓。

最后,铁离子的浓度也会对反应效果产生影响。过高的铁离子浓度可能导致溶液中离子间的干扰增加,从而降低氧化效率。因此,对这些关键参数进行优化,对于实现高效和经济的 Fenton 氧化处理至关重要。

### 三、改进策略的理论探讨

#### 3.1 催化剂改性研究

在探索高效 Fenton 氧化法的过程中,催化剂改性研究扮演着至关重要的角色。传统的 Fenton 氧化法依赖于铁离子的催化作用,但其活性易受 pH 值、反应时间等因素影响,限制了处理效率。近年来,科研人员通过纳米技术、负载金属离子、引入助催化剂等方式对 Fenton 催化剂进行改性,以提高其活性和稳定性。有研究显示,通过制备  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  纳米粒子,可以显著提高氧化反应的活性位点,从而在更低的 pH 条件下实现高效的污染物降解。通过负载铜、钴等金属离子,可以拓宽催化剂的适用范围,对某些难降解的纺织废水染料表现出更强的去除能力。这些改性策略为优化 Fenton 氧化法,提升纺织废水处理效果提供了新的理论支持和实践可能。

#### 3.2 反应条件优化研究

Fenton 氧化法作为一项高效的废水处理技术,其效能受到多种因素影响,其中反应条件的优化是提升处理效率的关键。在实际应用中,我们发现通过调整 Fenton 反应的 pH 值、过氧化氢 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 投加量以及反应时间,可以显著提高对纺

织废水中染料和有机物的去除效果。一项研究显示,当 pH 值在 3-4 的酸性环境下,  $\text{Fe}^{2+}$  催化生成的  $\cdot\text{OH}$  活性更高,能更有效地分解污染物。通过精确控制  $\text{H}_2\text{O}_2$  的投加量,可以避免过量导致的副反应,进一步提升氧化效率。采用响应面法优化得出的最佳反应时间,如 Zhang 等人 (2020) 的研究中找到的 60 分钟,可以实现最大污染物去除率与资源利用效率的平衡。

### 四、结论

在当前环保背景下,探索高效 Fenton 氧化法处理纺织废水显得尤为重要。Fenton 氧化法,以其高效的有机物降解能力和环境友好性,已经成为废水处理领域的一个研究热点。该方法通过产生强氧化性的羟基自由基,能有效分解纺织废水中难以生物降解的有机污染物,如染料、助剂等。

Fenton 氧化法的效能受到多种因素影响,包括初始 pH 值、 $\text{Fe}^{2+}$  浓度、 $\text{H}_2\text{O}_2$  投加量以及反应时间等。研究表明,当 pH 值在 3-4 时,羟基自由基的生成效率最高,而过高的  $\text{Fe}^{2+}$  浓度可能导致羟基自由基的猝灭,降低氧化效率。因此,优化这些参数对于提升 Fenton 氧化法的处理效果至关重要。

为了进一步提升处理效率,科研人员提出了催化剂改性和反应条件优化等策略。催化剂改性,如使用纳米  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等,可以提高催化剂的活性和稳定性,降低副产物的生成。而通过实验设计和模型预测,可以找出最佳的反应条件组合,如最佳的  $\text{H}_2\text{O}_2$  投加量和反应时间,以实现最大化的污染物去除率和最小的运行成本。

### 参考文献

- [1]申祖武,揭翠,杨娇羽,等.生物合成施威特曼石催化类 Fenton 反应处理纺织印染废水研究[J/OL].环境保护科学, 1-12[2024-08-15].<https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.202404055>.
- [2]黄修行,李惠,李巧云.基于 Fenton 氧化法的垃圾渗滤液处理研究进展[J].中国资源综合利用, 2024, 42 (03): 106-108.
- [3]贺畅涵,王娟,曲丽君.纺织工业废水污染物及其处理技术[J].毛纺科技, 2023, 51 (10): 125-131.DOI: 10.19333/j.mfkj.20221005307.