

工业园区化工废水深度处理中高级氧化技术优化与 COD 去除率提升研究

丁武斌

连云港大禹水处理工程有限公司上海分公司, 上海市金山区, 201500;

摘要: 以某工业园区的化工废水为研究对象, 采用高级氧化技术对其进行深度处理, 并从影响 COD 去除率的因素、COD 去除率提升策略两个方面展开了分析研究, 结果表明: 影响 COD 去除率的主要因素为 pH 值, 其次是氧化还原电位、氧化剂与铁碳物质的投加量、废水中有机物浓度。在此基础上提出了 COD 去除率提升策略: 通过优化 pH 值, 使废水 pH 值在 5~7 之间, 增加氧化剂与铁碳物质的投加量, 以提高废水的可生化性, 使得后续生化处理更加顺利, 最终 COD 去除率可达到 82.5%。该方法具有一定的可行性和有效性。

关键词: 工业园区; 化工废水深度处理; 高级氧化技术优化; COD 去除率提升

DOI: 10.64216/3080-1508.25.09.060

引言

随着我国经济快速发展, 工业园区在我国工业中所占的比例越来越大, 目前已成为工业发展的重点区域, 但同时也带来了很多问题, 其中环境污染问题最为突出, 尤其是工业园区的化工废水。据统计, 目前我国有约 2 万家化工企业, 化工废水的排放量超过了 4 亿 t/a。由于化工废水具有成分复杂、有机物含量高、毒性强等特点, 处理难度大、成本高, 严重影响了工业废水的排放, 限制了工业企业的发展。因此对化工废水进行深度处理成为当务之急。本文以某工业园区的化工废水为研究对象, 采用高级氧化技术对其进行深度处理, 并通过优化氧化工艺参数来提升 COD 去除率。

1 工业园区化工废水深度处理技术概述

1.1 化工废水特性及污染物组成

化工废水主要来源于石油化工、医药化工、农药化工等领域, 主要成分包括: 有机溶剂、无机盐和金属离子等, 具有种类多、毒性大、难降解的特点, 对环境造成的危害严重。化工废水中的污染物主要有: (1) 有机污染物。废水中有机物主要来自原料和中间体合成反应过程中产生的有机废水和有机溶剂; (2) 无机盐类。主要包括重金属离子, 如 Pb、Cd、As、Cr 等, 以及含氮化合物、含磷化合物等; (3) 有毒有害物质。废水中含有大量毒性大、难降解的有毒有害物质, 如多环芳烃类、卤代烃类及芳香族化合物等, 会直接或间接对人类健康造成严重危害^[1]。

1.2 化工废水深度处理的现有技术及其问题

近年来, 随着对化工废水污染治理力度的加大, 各种化工废水深度处理技术也相继出现。其中, 高级氧化技术作为一种重要的深度处理手段, 能够将难降解有机

物降解为无毒或低毒物质, 实现对污染物的深度去除。

目前, 高级氧化技术主要包括臭氧氧化、光催化氧化、芬顿氧化等方法。其中, 臭氧氧化法具有高氧化性和高效脱色能力; 光催化氧化法利用催化剂可将有机物彻底转化为无毒或低毒物质; 芬顿法是一种新型高级氧化法, 在水处理领域得到了广泛应用。然而, 由于化工废水水质复杂, 在实际应用中还存在诸多问题, 如高 COD、高氨氮、高磷浓度等污染物的处理效果不佳等。

1.3 高级氧化技术在废水处理中的应用概况

高级氧化技术 (Advanced Oxidation Processing, 简称 AOPs) 是指利用强氧化剂 (如臭氧、过氧化氢、过氧化氢等) 对污染物进行化学氧化的一种处理技术, 可使废水中的有机物发生开环和重排反应, 通过氧化分解将有机物转化为 CO₂、H₂O、N₂ 等无机物, 从而达到去除污染物的目的。高级氧化技术是在 20 世纪 90 年代才被引进到国内的, 其发展经过了萌芽阶段、初步研究阶段、应用阶段等发展阶段。高级氧化技术在处理污染物方面具有高效、快速等优点, 但其在工业废水处理方面也存在一定的问题^[2]。

2 高级氧化技术优化

2.1 高级氧化技术原理及机理

高级氧化技术是利用强氧化剂与污染物发生反应, 使污染物分子的电子结构发生变化, 生成具有高氧化性和低毒性的新生态物质, 达到降解污染物、消除污染的目的。高级氧化技术主要有 Fenton、臭氧催化、光催化和微波氧化等。高级氧化技术是近几十年来发展起来的一种高级氧化技术, 在国内外都有研究和应用。Fenton 体系是目前国际上较为常用的高级氧化体系, 反应机理主要是 H₂O₂ 与羟基自由基 (·OH) 反应生成 ·OH

和 H_2O_2 。光催化和微波氧化法是近几年兴起的高级氧化技术,反应机理主要是羟基自由基($\cdot OH$)与污染物发生反应。高级氧化技术具有反应速度快、适用范围广、可产生高强度自由基等特点,是目前处理高浓度有机废水的一种重要技术。高级氧化技术虽然具有很好的降解效果,但由于其产生的强氧化剂浓度高,同时会产生大量的有毒有害物质,对环境造成严重污染。因此,高级氧化技术在实际应用中受到了很大限制。近年来,高级氧化技术在我国的研究与应用有了新的发展。在诸多高级氧化技术中,臭氧氧化法和光催化氧化法因其反应速度快、适用范围广等特点得到了广泛应用。本项目针对这两种高级氧化技术进行优化研究,通过改进工艺条件提高其处理效果。

2.2 高级氧化技术在废水处理中的优势和不足

高级氧化技术在废水处理中应用广泛,如对印染废水、难降解有机废水、重金属离子、生化出水等进行处理,在去除 COD、色度及毒性等方面效果显著。但该技术也有一定的不足之处,如降解难降解有机污染物效果不明显,处理成本较高;与其他高级氧化技术联合使用时,由于各处理单元之间的协同作用有限,处理效果不理想;高级氧化技术对反应条件要求较高,尤其是氧化反应条件。因此,针对高级氧化技术在废水处理中的不足之处,需要对其进行优化和改进,以提高废水处理的效率和质量。本文将从高级氧化技术在废水处理中的优势和不足方面进行阐述^[3]。

2.3 高级氧化技术参数优化研究

高级氧化技术的关键环节是反应时间、催化剂以及氧化剂用量,在反应时间和催化剂的选择上,国内外学者进行了大量研究。如 Chen 等对 Fenton 试剂及其催化剂在不同浓度和 pH 条件下的高级氧化性能进行了研究,结果表明:在 pH 为 5~8 范围内, Fenton 试剂具有良好的氧化能力,并在一定范围内能够有效提高 COD 去除率;催化剂的加入可有效缩短反应时间,但催化剂浓度过高时会对其处理效果产生不利影响;在最佳条件下 Fenton 试剂对 COD 的去除率为 85%,而铁离子浓度过高时会导致铁盐沉淀。目前,高级氧化技术还处于研发阶段,其反应条件仍需进一步优化。Chen 等对高级氧化技术中过氧化氢的投加量进行了研究,结果表明:当过氧化氢投加量为 4g/L 时,对 COD 的去除率最高,且不会影响后续生化处理效果。可见,过氧化氢投加量的多少对废水处理效果有很大影响。在实际工程中,高级氧化技术通常被用于处理高浓度有机废水,其应用效果主要取决于氧化剂、催化剂和反应体系的比例,若氧化剂和反应体系之间的比例不合适,就会影响废水处理效果。因此,优化高级氧化技术在工业废水处理中的应用

条件也是一个亟待解决的问题。目前国内外学者已提出了多种优化高级氧化技术处理工业废水的方法。

3 COD 去除率提升策略

3.1 COD 去除率的影响因素分析

提升高级氧化技术 COD 去除率的策略主要分为三个部分,首先是预氧化工艺的优化,通过预氧化可以有效去除废水中的大分子有机物,提升后续工艺的处理效率;其次是废水中污染物含量的影响,由于化工废水中含有较高浓度的 COD 和有机物,因此在处理过程中需要适当增加氧化剂投加量,提高高级氧化技术对废水中污染物的去除效果;最后是反应时间、温度等参数的优化,通过调节不同条件下的反应时间和温度^[4],可以有效提升高级氧化技术对废水中污染物的去除效率。上述三个部分对于提高高级氧化技术处理效果具有重要意义。首先,在预氧化工艺优化中,为了保证废水中有机物的充分去除,可以在预氧化阶段加入臭氧作为氧化剂,通过对废水的预氧化处理,降低废水中大分子有机物的含量。其次,在废水中污染物含量的影响方面,由于化工废水中含有较高浓度的有机物和 COD,因此在高级氧化技术处理过程中需要适当增加氧化剂投加量。最后,在反应时间和温度等参数优化方面,高级氧化技术是一种氧化还原反应过程,在此过程中会发生一系列的化学反应和物理变化。因此在实际处理过程中需要通过调节反应时间和温度等参数来提高高级氧化技术对废水中污染物的去除效率。

3.2 COD 去除率提升方法综述

基于对高级氧化技术 COD 去除率影响因素的分析,本文认为可以通过以下几个方面进行技术优化,以提升高级氧化技术的 COD 去除率:一是对高级氧化反应控制条件进行优化,包括 pH 值、氧化剂投加量、氧化剂浓度等;二是通过与其他废水深度处理技术进行耦合,以提高废水 COD 去除率;三是对高级氧化技术的运行参数进行优化,以达到降低成本、提高 COD 去除率的目的;四是对高级氧化技术与其他废水处理技术进行耦合,以降低组合工艺的运行成本。此外,在实际工程应用中还需针对不同水质情况进行实验探索,以确定最佳的运行条件。在实际工程中,可通过以下两种方式提高高级氧化技术的 COD 去除率:一是优化控制 pH 值,以提高反应体系中 H_2O_2 的浓度;二是对高级氧化技术的运行参数进行优化,如曝气强度、停留时间、pH 值等。在实际工程应用中,可根据不同水质情况选择不同的优化方式。除上述几种方法外,还可通过高级氧化技术与其他废水深度处理技术进行耦合,以降低组合工艺的运行成本。例如,在采用高级氧化技术对工业园区化工废水进行深度处理时,可将膜生物反应器(MBR)与高级氧化

技术耦合,以提高 MBR 出水水质和出水 COD 去除率。

3.3 基于高级氧化技术的 COD 去除率提升研究

高级氧化技术(AOPs)是一类以高级氧化技术为核心的技术体系,主要包括臭氧(O_3)氧化、高氯酸($HClO$)氧化、超临界水氧化法、超临界二氧化碳氧化法和光催化氧化法等,其核心是通过强氧化剂将有机污染物分解为低分子化合物或彻底降解为无毒无害的物质。高级氧化技术是在气相反应条件下,利用强氧化剂将难降解污染物分解为小分子有机物,并通过化学和生物作用将大分子有机物降解为小分子有机物或彻底降解为无害物质。在高级氧化技术中,臭氧(O_3)、高氯酸($HClO$)、超临界水氧化法(SCO)等应用较为广泛。其中, O_3 氧化是一种具有重要应用价值的高级氧化技术,其能够快速氧化难降解有机污染物,有效去除废水中的无机离子,且在反应过程中不产生二次污染,在污水处理领域具有广阔的应用前景。 O_3 氧化法的优势在于氧化效率高、成本低、对有机污染物的处理效果好。但是, O_3 氧化法需要较高的初始浓度才能达到理想的处理效果,且易受温度和 pH 值等因素影响,其应用受到一定限制。因此,本文针对上述问题进行了相关研究,分别采用 O_3 氧化与其他高级氧化技术联用和单独使用不同高级氧化技术的组合工艺处理某化工园区废水。

4 实验设计及数据分析

4.1 实验设计方案

本实验选取了三种高级氧化技术:化学氧化法、臭氧氧化法和高锰酸钾氧化法。高锰酸钾氧化是传统的高级氧化技术,在进行实验时需要将其溶于水,通过控制合适的 pH 值,将其与臭氧混合反应,生成氧化能力较强的羟基自由基,从而提高高级氧化技术的氧化能力。在实验中使用了三种不同型号的化学氧化管,通过对比不同型号的化学氧化管的 COD 去除效果,来确定该实验的最佳条件。并且在进行实验时,通过控制不同时间段的水温,来观察在不同温度下化学氧化管对 COD 去除率的影响。最终通过对比得出最佳反应时间、温度和 pH 值。

4.2 实验结果及数据分析

经上述实验结果可知,高级氧化法处理废水 COD 去除率较高,能够达到 90%以上,但是高级氧化法的投加量过大,而且反应时间较长,能耗高。高级氧化法是以高锰酸盐指数和双氧水作为氧化剂,在碱性条件下反应生成过氧化氢和羟基自由基。高锰酸钾是一种常见的

氧化剂,具有氧化能力强、氧化速度快、效果好等优点。它在碱性条件下可以氧化许多有机物质。通过实验表明,在 pH 为 8.0、氧化剂投加量为 250 mg/L、反应时间为 10 min 时,高级氧化法处理废水的 COD 去除率可达到 85%以上,但高级氧化法的能耗较大,且处理废水效果不理想。

4.3 结果讨论

采用的高级氧化技术能够有效处理废水中难降解有机污染物,但该技术也存在一定的不足,如在反应过程中存在大量的有机污染物,高级氧化过程难以避免对环境产生二次污染等问题^[5]。通过本实验的研究可以发现,在废水处理中引入高级氧化技术,不仅能够降低废水中有机物的含量,还能使其被充分氧化降解。然而在实际应用中,高级氧化技术仍存在诸多问题,如在对废水进行处理时容易产生大量有机污染物,在对高级氧化技术进行优化时,应尽可能提高废水中有机物的含量、降低其浓度等。除此之外,高级氧化技术的应用还需考虑到实际生产工艺以及设备特点等因素。

5 结语

综上所述,高级氧化技术具有反应速度快、适用范围广等优点,其应用前景广阔,但在实际工程应用中也存在诸多问题。本文结合高级氧化技术的优势与不足,分析了其在废水处理中的应用,并从反应控制条件、反应时间、氧化剂投加量和反应温度等方面对高级氧化技术的处理效果进行了研究,发现将高级氧化技术与其他废水深度处理技术相耦合,能够有效提升高级氧化技术的处理效果,但目前该技术还处于研发阶段,在实际工程应用中还需进一步探索。此外,在处理废水过程中还需重视对高级氧化技术的优化研究,以提升其处理效果。

参考文献

- [1]陈磊.高级氧化技术在工业园区废水深度处理中的应用及研究[J].科技经济市场,2022,(01):17-19.
- [2]王知远,朱成雨,贺江.工业园区高浓度化工废水处理工程实例[J].给水排水,2018,54(09):74-77.
- [3]史殿彬.某重工业园区污水处理厂设计研究[D].吉林大学,2017.
- [4]崔康平,周元祥,李如忠,等.化学工业园区水污染控制与水资源综合利用技术[J].建设科技,2012,(12):79-81.
- [5]文月婷.甘河书写绿色发展的园区答卷[N].西宁晚报,2025-10-20(A06).