

Research Progress on High-Salt Printing and Dyeing Wastewater Treatment Technology

Xiaoqing Zhang, Yanyang Chu*

School of Environment and Safety Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao Shandong
Email: cyyf200611@qust.edu.cn

Received: Sep. 21st, 2018; accepted: Oct. 10th, 2018; published: Oct. 17th, 2018

Abstract

With the development of printing and dyeing industry, the composition of dye wastewater is complex and variable, and the emission is increasing day by day, which endangers environmental protection and human health. This paper introduces three major treatment technologies for high-salt printing and dyeing wastewater: biological, physical and chemical methods, and analyzes their respective advantages and the existing problems.

Keywords

High Salt, Printing and Dyeing Wastewater, Biological Method, Physical Method, Chemical Method

高含盐印染废水处理技术的研究进展

张晓庆, 褚衍洋*

青岛科技大学环境与安全工程学院, 山东 青岛
Email: cyyf200611@qust.edu.cn

收稿日期: 2018年9月21日; 录用日期: 2018年10月10日; 发布日期: 2018年10月17日

摘要

随着印染行业的发展, 染料废水的成分复杂多变, 排放量日趋增加, 危及环境保护和人类身体健康。本文首先阐明了高含盐印染废水的三大处理技术: 生物法、物理法、化学法, 并比较分析了它们各自的优势和存在的问题。

*通讯作者。

关键词

高含盐, 印染废水, 生物法, 物理法, 化学法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国作为染料大国, 印染废水的排放量大幅度增长, 占工业废水总排放量的十分之一。据测算, 每印染加工 1 t 纺织品耗水 100 t~200 t, 其中废水占 80%~90%, 无法回收再利用。染料废水的组成复杂, 往往有较高的 COD 和色度, 是难处理的工业废水之一, 同时工业生产过程中的添加剂中含有较高盐分, 使得其废水处理更加困难。同时, 随着印染技术的发展和工艺的不断升级, 印染行业中的新型助剂、染料、整理剂等物质得到广泛应用, 其中难降解、有毒的有机物质的含量也越来越多, 对环境尤其是水环境的威胁和危害越来越大, 导致印染废水的处理难度逐渐加大。印染废水总量大, 重污染, 难处理, 制约着我国印染行业可持续发展。在国家对生态环境重新认识及提高重视之后以及“十三五”期间, 我国进行了大量的产业结构调整, 逐渐取缔并淘汰那些规模小、污染重、管理松、技术落后的染料生产企业及一些印染行业后, 染料废水的处理处置问题依旧严峻[1] [2]。因此, 印染废水的处理是目前急需解决的问题。本文基于印染废水的来源性质特点与污染现状, 介绍印染废水的三大基本处理技术, 分析总结近几年来国内外研究成果, 以期探讨目前处理技术出现的问题, 并提出展望。

2. 高含盐染料废水的来源性质特点

高含盐染料废水主要指含有 3.5% 的总溶解固体物(TDS)的有机废水, 主要来源于印染业, 这类废水所含的盐份主要为碱金属类物质和 Mg^{+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 等, 也对生态平衡造成威胁, 种种危害迫使人们寻求快速有效的水处理方式加以解决[3]。

染料生产的基本原料为萘系、蒽醌、苯系、苯胺及联苯胺类化合物, 在加工生产过程中经过预处理、染色、印花和整理等工序, 易和金属、盐类等物质发生螯和, 造成了染料废水多为含金属离子、含硫、微酸或微碱、含盐、含氯化物、含溴化物的高色度、高 COD, “三致”毒性的难降解有机废水[4]。

总的来说, 印染废水的特点主要有, 水质复杂且变化剧烈, 水量较大, pH 值变化范围大, 温度高, 色度一般都很高, 有机污染物含量高, 以及 COD 和 BOD 高, 可生物性低, 难降解等[5]。

3. 处理技术

当前, 高含盐印染废水的处理技术主要有物理法, 化学法, 生物法三大类。

3.1. 物理法

用于印染废水处理的物理方法大致可分为吸附, 混凝, 膜处理等。该法主要去除水中的织物碎屑、悬浮物等, 通过物理方法使污染物发生转移, 达到废水脱色, 降低 COD、BOD, 去除悬浮固体(SS)的目的。

3.1.1. 吸附法

吸附法是借助吸附剂将气体或液体混合物中一种或多种组分凝缩或积聚在表面, 利用吸附剂的巨大

的比表面积、多孔性或化学键力作用, 吸附废水中的一种或几种污染物, 以达到废水净化的目的[6] [7]。随着废水处理技术的发展, 吸附法因具有投资费用低、操作简单、对多种染料都有较好的去除等优点, 在物化处理法中应用最多, 是染料废水处理的重要方法之一。吸附法的缺点是处理量较少, 吸附再生性差。

Mahmoodi [8]等研究并建立阴离子染料废水模型, 将活性炭作为吸附剂, 研究发现, 在室温下, pH 值为 2 的条件下, 经过活性炭吸附处理 10 min, 其脱色率达到 98%。范追追[9]等研究新型自制高效水凝胶吸附剂对亚甲基蓝染料的去除效果, 实验结果显示, 以 PVA-CO-PE 纳米纤维为基底, 添加 β -环糊精聚合物的新型吸附剂对亚甲基蓝有很好的吸附性能, 去除率最高可达 98%以上。

J. Guo [10]等分析比较改性膨润土对染料废水中弱酸性猩红的吸附效果, 分别为壳聚糖改性膨润土(CTS-Bent), 十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)改性膨润土(CTAB-Bent), 以及壳聚糖和十六烷基三甲基溴化铵改性膨润土(CTS-CTAB-Bent), 结果表明, 弱酸性猩红对天然膨润土的吸附能力较低(4.9%), 而 1CTS-Bent 和 1CTS-10CTAB-Bent (1%壳聚糖, 10% CTAB)的吸附能力较高, 最佳去除率高达 85%。

R liu [11]等研究比较高锰酸钾(KMnO_4)氧化和原位形成的含水二氧化锰(δMnO_2)吸附处理染料废水中阳离子蓝的效果。在 pH 2.0 下 KMnO_4 氧化和 δMnO_2 吸附是生物过程之前的最佳策略, 最大溶解有机碳(DOC)去除率为 65.0%有助于实现脱色, DOC 去除和 BOD 增加的目标。

3.1.2. 膜处理技术

膜分离技术是利用特殊的薄膜选择性分离功能[12], 是一种高效分离、提取、纯化和浓缩技术, 具有无相变、分离效率高、工艺简单、操作方便、易控制、无二次污染等优点。按膜孔径大小的不同, 一般可分为四类, 即微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和反渗透(RO) [13]。膜分离技术的缺点是膜堵塞严重, 处理成本高。

Y. Peng [14]等通过与不同剂量的 Ag-TiO₂-APTES 复合物混合制备一种新型聚偏二氟乙烯(PVDF)膜用于染色废水处理。实验表明, 膜表面的亲水性增加, 加 Ag-TiO₂-APTES 后, Ag-TiO₂-APTES 在膜基质中具有良好的分散性, 并且还改善了膜的微观结构。MF Abid [15]等采用反渗透和纳滤膜技术去除染料废水中酸性红, 活性黑和活性蓝, 在最佳操作条件下的结果显示, 膜法具有较高的去除潜力, 有效成本较低, 对于酸性红, 活性黑和活性蓝, RO 膜的最终染料去除率分别为 97.2%, 99.58%和 99.9%, 而使用 NF 膜, 三种染料的最终染料去除率分别为 93.77%, 95.67%和 97%。

3.2. 生物法

生物处理法是依靠活的微生物的絮凝功能、吸附功能以及生物的降解处理能力微生物, 在适当条件下, 将废水中的有机物分解利用, 减少污染的方法[16]。生物的降解处理作用是利用微生物自身水解氧化酶等来氧化或还原染料分子, 破坏其发色基团以及不饱和键, 并通过一系列氧化、还原、水解、络合作用, 将染料最终降解为简单无机物, 或转化为各种营养物质或原生质。

生物处理法由于微生物繁殖速率快、适应性强、运行成本低、不存在二次污染、处理效果好等优点[17], 国内外应用广泛。常用的生化处理法主要有好氧法和厌氧法。对于印染废水的生物处理, 根据废水中有机污染物的成分及含量, 可以采用好氧法、厌氧法或厌氧-好氧法。生物处理法的缺点有处理时间长, 抗冲击能力差, 效果不稳定。

生物法通常与其他处理方法联用, 最为热门的是膜生物反应器(MBR) [18]。它是一种膜分离技术与生物处理法结合的新型污水生物处理装置, 有处理效率高、出水水质好; 设备紧凑、占地面积小; 易实现自动控制、运行管理简单等优点。CH Wei [19]等应用新型生物流化床 A/O 联合工艺, 采用容量高达 400 L/d 的浸没式中空纤维膜生物反应器(MBR)处理常州印染厂的印染废水。MBR 装置连续运行 100 天, COD

去除率达到 90%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和颜色的去除率分别为 90%~95%和 60%~75%。Y Xing [20]等采用膜生物反应器(MBR)-反渗透(RO)技术对印染废水进行处理。实验发现, 印染废水经 MBR 处理后, SS、COD 和颜色去除率达到 100%、89.9%和 87.5%, 经过反渗透系统, 硬度去除率和去矿率分别达到 99.62%、99.64%, COD 和色度进一步降低, 出水水质符合生产用水的要求。

3.3. 化学法

化学处理技术是利用化学反应的原理及方法来分离回收废水中的污染物, 或改变它们的性质, 使之无害化、低毒化的一种处理方法[21]。主要的处理技术有: 中和法、氧化法、还原法、分解法、混凝法、化学沉淀法等。

3.3.1. 化学混凝法

化学混凝法是向废水中加入一定电解质(絮凝剂), 通过物理或化学的作用, 使原先溶于液体中或呈悬浮状态、不易沉降、过滤的污染物相互碰撞并集结成较大颗粒, 通过重力沉淀或者离心作用, 从而与水分离的方法, 使富集在废水中的发色物质分离、去除[22]。混凝技术的优点有工艺流程简单、操作简便、处理量大、投资小、占地省、脱色率高, 经常作为废水预处理, 可以有效降低废水的色度、COD、SS 等。化学混凝法的缺点是亲水性染料脱色、COD 去除率差, 易产生污泥, 造成二次污染。

S. Zhao [23]等运用浒苔多糖(Ep)制备了新型絮凝剂, 与聚合氯化铝(PAC)联合使用处理活性蓝染料废水, 可明显提高脱色率明显提升。Y. Hsu [24]等利用多级化学混凝与臭氧氧化处理高浓度染料废水, 通过使用混凝剂氯化铁和商业助凝剂, 在臭氧氧化之前除去大部分 COD, 混凝剂沉降后进行相似的处理, 形成处理循环, 实验表明, 处理后废水颜色去除率超过 99%, COD 去除率超过 90%。W. Zhou [25]等研究 Bsi20310 胞外多糖(EPS)对氯化铁凝固活性艳红 X-3B(RX-3B)的作用, 实验发现, 在 pH 为 10 时, 加 EPS 脱色效果显著提高。EPS 具有负表面电荷并且通过与氯化铁-染料絮凝物结合形成中和的可沉降的氯化铁-染料-EPS 絮凝物, 改善絮凝物聚集, 提高氯化铁凝固性能。

3.3.2. 化学氧化法

化学氧化法是利用各种氧化剂(O_3 、 H_2O_2 、 NaClO 、高锰酸钾、空气等)将染料分子发色基团的不饱和键断开, 形成分子量较小的有机物或无机物, 使染料降解脱色, 同时可有效降低印染废水的 COD [26]。化学氧化法主要包括臭氧氧化法、氯氧化法、过氧化氢氧化法和光催化法等[27]。但由于氯氧化法在脱色的同时, 易产生小分子、危险性更大的、引起动物肿瘤、损坏神经系统的三氯甲烷等有机卤代物, 现已极少使用; 而过氧化氢法和光催化法虽具有效率高、无二次污染等优点, 但受处理成本和能耗的制约, 离产业化应用尚有一定的距离。所以, 当前国内外应用于工业废水处理的化学氧化法主要是臭氧氧化法。

臭氧(O_3)作为强氧化剂, 在水中有较高的氧化还原电位(2.07 V), 在化学试剂中仅次于氟, 能与废水中绝大多数有机物迅速反应[28]。臭氧可以直接氧化有机污染物, 也能在光照、碱等因素作用下产生活泼自由基(主要是 $\cdot\text{OH}$)使有机物氧化。臭氧氧化法有速度快、效果好、易控制、不产生二次污染的优点, 同时, 臭氧氧化法存在成本高、COD 和 TOC 的去除效果不明显等缺陷。

J. Zhao [29]等采用臭氧氧化法处理模拟酸性红 B 染料废水, 结果表明, 在最佳反应条件下, TOC 和酸性红 B 的去除率分别达到 44.91%和 99.31%。紫外-可见光谱分析表明酸性红 B 分子结构被臭氧有效破坏。X. J. Zhou [30]等建立了超声波辅助臭氧氧化工艺(UAOOP)处理三苯甲烷染料废水, 研究不同操作条件的影响, 优化操作参数, 结果表明, UAOOP 是一种高效, 快速, 低能耗的染料废水脱色技术。赵莎[31]等研究在鼓泡反应器中, 臭氧氧化降解优尼素红 B-B 模拟染料废水在 10°C ~ 70°C 的温度范围内的表现脱色反应动力学。结果表明, 臭氧氧化优尼素红 B-B 染料废水当温度在 40°C ~ 50°C 范围时, 脱色率最高,

达到 99.5%。

3.3.3. 芬顿氧化法

1894 年法国科学家 H. J. H. Fenton 在研究中发现亚铁离子和过氧化氢在酸性条件下共存时具有强氧化性, 以他的名字命名的芬顿试剂就被逐渐应用于医药化工、精细化工等方面的分析研究和有机合成领域[32]。芬顿试剂是 Fe^{2+} 和 H_2O_2 组成的氧化体系。其废水处理机理是 H_2O_2 在 Fe^{2+} 的催化作用下生成具有极高氧化电位(2.8V)的 $\cdot\text{OH}$, 而 $\cdot\text{OH}$ 能与难降解的有机物发生化学反应, 使之分解成为易降解的低分子有机物或其他小分子物质[33]。

传统芬顿法反应条件温和, 无需高温高压, 设备装置易于控制, 色度和 COD 去除率较高, 处理过程清洁。同时, 传统芬顿法存在对有毒有机污染物的矿化程度不高、利用率低、用量大和反应过程中形成的氢氧化铁絮凝物造成处理成本高等不足, 限制其发展。

F. Torrades [34]等采用响应面方法和多因子分析设计优化 Fenton 和光-Fenton 反应处理实际染料废水, 探究最适温度、 Fe^{2+} 和 H_2O_2 浓度, 结果表明, 在最佳反应条件下, Fenton 和光-Fenton 处理后的 COD 分别减少了 62.9%和 76.3%。L. Gu [35]等在中试规模研究中应用多阶段芬顿反应与内循环相结合的增强芬顿法降解染料中间体废水, 结果表明, 当实施两级 Fenton 与内循环的反应(流出、流入比为 5)时, COD 去除效率和氧化效率效果好, 分别为 93%、62%。曾旭[36]等以苏州工业园某厂的印染废水作为实验对象, 探索不同因素对芬顿氧化处理效果的影响。实验结果表明:废水 pH 调至 3, 当药剂投加量为 30%过氧化氢 1.5 g/L, 硫酸亚铁 1250 mg/L、壳聚糖絮凝剂 3 mg/L 时, 废水 COD 去除率最好, 可达 80%以上。

由于印染废水的成分愈加复杂多变, 芬顿法也越来越多地与其他处理方法结合, 组合工艺协同处理印染废水。G. L. Zhang [37]等通过微波辐射-Fenton 氧化偶联混凝法处理染料废水, 结果印证了微波的增强效应和组合工艺的协同效应, 微波辐射促进 Fenton 氧化和混凝过程, 迅速产生更多的羟基自由基, 促使有机物质分子极化, 染料废水中难降解有机物的降解效率显著提高, 絮凝剂、氧化剂和催化剂的用量和处理时间也明显减少。Feng [38]等结合 Fenton 氧化和膜生物反应器联合工艺深度处理印染废水, 结果表明, 在最佳 Fenton 氧化条件下, 35 min 后平均总有机碳(TOC)和颜色去除率分别为 39.3%和 69.5%。

电芬顿法的研究始于 20 世纪 80 年代, 是一种基于芬顿化学反应的电化学高级氧化技术, 在类芬顿反应中应用最为广泛, 越来越受到关注。F. Almomani [39]等研究两种活性偶氮染料在掺硼金刚石电极上的电芬顿氧化, 结果表明, 电芬顿可以实现更高的去除效率, 其中在最适 $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 投加量条件下, 红色染料和 COD 的去除率可达 98%和 96%。K Cruz-González [40]等通过使用包含硼掺杂金刚石(BDD)电极作为阴极的电-芬顿法(EF)降解含有酸性黄 36(AH-36)的偶氮染料溶液, 优化染料浓度、电流密度、电解时间和 Fe^{2+} 浓度等实验条件, 染料脱色效率最高可达 95.9%。陶虎春[41]等采用聚乙烯亚胺/多壁碳纳米管(PEI/MWCNT)修饰石墨毡的制备电极作为阴极, 应用电芬顿体系处理橙 II 染料模拟废水, 在近中性条件下电解 60 min, 橙 II 染料降解效率最高可达 96.8%; 相同条件下电芬顿处理实际印染废水, 废水色度去除率很高, 氨氮去除率和 COD 去除率为 56.2%, 69.4%。Elmira Pajootan [42]等采用多壁碳纳米管(MWNTs)和阳离子表面活性剂(十六烷基三甲基溴化铵)修饰的石墨电极做为阴极, 利用电芬顿方法降解酸性红和酸性蓝染料溶液, 高比表面积的 MWNTs, 增强了氧的吸附能力, H_2O_2 的产量显著增加, 染料废水的脱色率和 COD 也有很大的提高。

4. 新技术

单一的处理技术虽然发挥了一定的作用, 但劣势逐渐显露, 均存在局限性, 难以满足当前印染废水处理的排放要求。近年来, 组合技术处理废水日渐兴起, 用于污染废水处理有独特的优越性, 成为印染废水处理研究的新趋势。

4.1. 光催化-微生物耦合技术

采用光催化作为微生物处理的前置技术, 将成分复杂难降解物质转化为可生物降解的中间产物, 提高可生化性, 光催化-微生物耦合克服了单独光催化处理能耗大, 费用高的缺点, 使其适用于生物降解, 为印染废水的处理提供了新的思路。

Deveci [43]等人利用组合式真菌膜反应器(FMBR)与半导体光催化膜反应器(PMR)处理印染废水, 实验表明光催化降解的化学需氧量(COD)降低效率和脱色率分别为 53%和 88%, 真菌生物降解的颜色去除和 COD 去除率分别为约 56%和 60%, 而生物降解-光催化氧化组合式技术, 实现了对颜色和 COD 的高去除率, 分别达到了 93%和 99%。杨长秀[44]等使用光催化耦合微生物一体化工工艺处理有机废水, 比较实验结果表明, 一体化工工艺的 COD 去除率为 81%, 相较于单独微生物实验(15%)和单独光催化实验(63%)有显著提高。

4.2. 电-生物耦合技术

电-生物耦合技术综合了生物法的经济节能, 电氧化技术处理对象广泛且高效的特点, 同时又可以将其缺点转化为优点, 比如电化学反应过程中产生的副反应应用于生物反应中, 可使处理效果和电流效率大幅提高, 而电场可以提高参加电化学反应的分子或离子的活性, 使得大部分电化学反应可以在低得多的温度下进行。

魏金枝[45]等添加以负载 Sb 掺杂 SnO_2 的陶瓷颗粒作为材料的电极, 构建三维电极体系, 形成电-生物耦合反应器, 用于活性艳红 X-3B 的处理。结果表明当处理时间为 60 min, 槽电压为 13 V 时, 三维电极体系相较于二维电极体系, COD 去除率提高了 32.9%, 相应能耗降低了 33.3%, 实现了活性艳红 X-3B 废水的高效低耗处理。

4.3. Fenton 耦合微电解-混凝沉淀-活性炭吸附工艺

此工艺集絮凝吸附、氧化还原、共沉淀、电沉积等作用于一体, 管理方便, 处理效率高, 能够去除难降解有机物, 实现大分子有机污染物的断链, 使出水水质达标。

程爱华[46]等利用“Fenton 耦合微电解-混凝沉淀-活性炭吸附”工艺处理染料废水, 确定最佳处理工艺条件。实验表明, Fenton 耦合微电解反应中, 在投加海绵铁用量为 150 g/L, 硫酸亚铁用量为 40 g/L, 双氧水用量为 200 mg/L, 反应 4 h 后, 调节 pH = 8, 投加 100 mg/L 聚合硫酸铁(PFS)混凝沉淀, 上清液投加 10 g/L 活性炭进行吸附, 出水 COD 从 21,380 mg/L 降为 496 mg/L, 色度从 512 倍降为 2 倍, 去除率可达 97.7%和 99.9%。

5. 总结展望

现如今, 国内外市场对染料的需求有增无减, 印染材料成本提高, 处理维护费用增加, 废水处理难以达到执行标准。另外, 印染技术水平的提高, 使得污染物成分复杂多变。国家 2015 年颁布水十条以来, 对印染废水出水水质的要求更加严格。因此, 研发有效、经济、综合的印废水处理工艺技术迫在眉睫。

高含盐印染废水处理以生物法为主, 物理法与化学法为辅, 其中芬顿氧化技术尤其受到关注, 它们都在一定程度上降低印染废水中难降解有毒有机物的浓度, 减轻对人类和环境的危害, 都有各自的优势和局限性。实际印染废水处理过程中, 需要结合自身水质、水量等特点, 因此合理选择和组合现有工艺、提升传统工艺、开发新工艺将成为今后印染废水处理工艺的发展主流。

基金项目

山东省自然科学基金(ZR2014EEM032)。

参考文献

- [1] Chang, A. and Sun, J. (2010) Research Progress on Printing and Dyeing Wastewater Treatment Technology. *Guangdong Chemical Industry*, **21**, 440-443.
- [2] Ren, N., Zhou, X., Guo, W., et al. (2013) A Review on Treatment Methods of Dye Wastewater. *CIESC Journal*, **101**, 23983-23992.
- [3] Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., et al. (2014) Application of Chitosan and Its Derivatives as Adsorbents for Dye Removal from Water and Wastewater: A Review. *Carbohydrate Polymers*, **113**, 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.007>
- [4] 袁州, 任姝昕. 印染废水水质特征及处理技术研究[J]. 工程技术: 全文版, 2017(1): 00252.
- [5] 许铁强, 韩吉利, 孙斌, 等. 常用印染污水处理技术应用对比及发展对策[J]. 价值工程, 2017, 36(5): 158-159.
- [6] Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., et al. (2018) Dyes Adsorption Using Clay and Modified Clay: A Review. *Journal of Molecular Liquids*, **256**, 395-407. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>
- [7] Mu, B. and Wang, A. (2016) Adsorption of Dyes onto Palygorskite and Its Composites: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **4**, 1274-1294. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.01.036>
- [8] 陈晓燕, 何秉宇, 张雯. 印染废水处理研究进展[J]. 纺织导报, 2018(3): 60-62.
- [9] 范追追, 朱青, 王文, 等. 高吸附性 PVA-CO-PE 纳米纤维水凝胶的制备及废水处理[J]. 印染, 2018(2): 5-10.
- [10] Guo, J., Chen, S., Liu, L., et al. (2012) Adsorption of Dye from Wastewater Using Chitosan-CTAB Modified Bentonites. *Journal of Colloid & Interface Science*, **382**, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.05.044>
- [11] Liu, R., Liu, H., Zhao, X., et al. (2010) Treatment of Dye Wastewater with Permanganate Oxidation and *in Situ* Formed Manganese Dioxides Adsorption: Cation Blue as Model Pollutant. *Journal of Hazardous Materials*, **176**, 926-931. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.128>
- [12] Kulkarni, S.J. (2014) Applications and Advancements in Treatment of Waste Water by Membrane Technology—A Review. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, **3**, 446-450.
- [13] Hussain, A., Al-Rawajfeh, A.E. and Alsaraiher, H. (2011) Cheminform Abstract: Membrane Bio Reactors (MBR) in Waste Water Treatment (A Review of the Recent Patents). *Cheminform*, **42**, 65-80. <https://doi.org/10.1002/chin.201120270>
- [14] Peng, Y., Yu, Z., Pan, Y., et al. (2017) Antibacterial Photocatalytic Self-Cleaning Poly(Vinylidene Fluoride) Membrane for Dye Wastewater Treatment. *Polymers for Advanced Technologies*, **29**, No. 7.
- [15] Abid, M.F., Zablouk, M.A. and Abidalameer, A.M. (2012) Experimental Study of Dye Removal from Industrial Wastewater by Membrane Technologies of Reverse Osmosis and Nanofiltration. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, **9**, 17. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-17>
- [16] Kanagaraj, J. and Mandal, A.B. (2012) Biological Method for Decolourisation of an Azo Dye: Clean Technology to Reduce Pollution Load in Dye Waste Water. *Clean Technologies & Environmental Policy*, **14**, 565-572. <https://doi.org/10.1007/s10098-011-0416-7>
- [17] Tagar, S., Zakira, U. and Ahmed, F. (2015) Selection of Treatment Process for Textile Dye Wastewater Based on Their Bio-Chemical Characteristics. *Journal of Environmental Science & Natural Resources*, **6**, 163-166. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v6i1.22060>
- [18] Rondon, H., El-Cheikh, W., Boluarte, I.A.R., et al. (2015) Application of Enhanced Membrane Bioreactor (eMBR) to Treat Dye Wastewater. *Bioresource Technology*, **183**, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.110>
- [19] Wei, C.H., Huang, H.J., Ren, Y., et al. (2011) Analysis of Novel Style Biological Fluidized bed A/O Combined Process in Dyeing Wastewater Treatment. *Environmental Science*, **32**, 1048-1054.
- [20] Lu, X.Y. (2011) Experimental Study of Advanced Treatment of Dyeing Wastewater with MBR-RO Process. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **5**, 2583-2586.
- [21] Kuokkanen, V., Kuokkanen, T., Romo, J., et al. (2013) Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review. *Green & Sustainable Chemistry*, **3**, 89-121. <https://doi.org/10.4236/gsc.2013.32013>
- [22] Singh, T.S.A. and Ramesh, S.T. (2013) New Trends in Electrocoagulation for the Removal of Dyes from Wastewater: A Review. *Environmental Engineering Science*, **30**, 333-349. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0417>
- [23] Zhao, S., Gao, B., Yue, Q., et al. (2014) Study of Enteromorpha Polysaccharides as a New-Style Coagulant Aid in Dye Wastewater Treatment. *Carbohydrate Polymers*, **103**, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.045>
- [24] Hsu, Y., Yen, C. and Huang, H. (2015) Multistage Treatment of High Strength Dye Wastewater by Coagulation and Ozonation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **71**, 71-76.

- [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199801\)71:1<71::AID-JCTB808>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199801)71:1<71::AID-JCTB808>3.0.CO;2-K)
- [25] Zhou, W., Shen, B., Meng, F., *et al.* (2010) Coagulation Enhancement of Exopolysaccharide Secreted by an Antarctic Sea-Ice Bacterium on Dye Wastewater. *Separation & Purification Technology*, **76**, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.10.011>
- [26] Shen, Y., Wang, Z. and He, F. (2011) Experimental Study on Treatment of Dyeing Wastewater with Ozone Pre-Oxidation and Coagulation. *Guangdong Chemical Industry*, **47**, 2455-2459.
- [27] Li, H., Zhou, L., Li, T., *et al.* (2012) Advanced Treatment of Bio-treated Dyeing Wastewater by Ozone Oxidation Process. *Environmental Protection of Chemical Industry*, **32**, 30-34.
- [28] Parsa, J.B. and Negahdar, S.H. (2012) Treatment of Wastewater Containing Acid Blue 92 Dye by Advanced Ozone-Based Oxidation Methods. *Separation & Purification Technology*, **98**, 315-320. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.06.041>
- [29] Zhao, J., Guixia, L.I., Liu, M., *et al.* (2014) Affecting Factors and Degradation Kinetics Study of Simulated Dye Wastewater Treated by Ozone Oxidation Process. *Journal of Hebei University of Science & Technology*, **35**, 296-302.
- [30] Zhou, X.J., Guo, W.Q., Yang, S.S., *et al.* (2009) A Rapid and Low Energy Consumption Method to Decolorize the High Concentration Triphenylmethane Dye Wastewater: Operational Parameters Optimization for the Ultrasonic-Assisted Ozone Oxidation Process. *Desalination & Water Treatment*, **11**, 288-293.
- [31] 赵莎, 许佩华, 陶仲冶, 等. 臭氧氧化优尼素红 B-B 染料废水及脱色动力学研究[J]. 化学研究, 8017, 28(4): 462-467.
- [32] Modi, H.J. (2018) Fenton Treatment: A Review on Treatment of Waste Water. *International Journal of Engineering & Technical Research*, **7**.
- [33] Tian, H. and Liu, Y.N. (2012) Study on the Treatment of Dye Wastewater Using Fenton Reagent. *Advanced Materials Research*, **518-523**, 3204-3207.
- [34] Torrades, F. (2014) Using Central Composite Experimental Design to Optimize the Degradation of Real Dye Wastewater by Fenton and Photo-Fenton Reactions. *Dyes & Pigments*, **100**, 184-189. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.09.004>
- [35] Gu, L., Nie, J.Y., Zhu, N.W., *et al.* (2012) Enhanced Fenton's Degradation of Real Naphthalene Dye Intermediate Wastewater Containing 6-nitro-1-diazo-2-naphthol-4-sulfonic Acid: A Pilot Scale Study. *Chemical Engineering Journal*, **189-190**, 108-116. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.038>
- [36] 曾旭, 曾德芳. 芬顿氧化深度处理印染废水的实验研究[J]. 广州化工, 2018(1): 92-94.
- [37] Zhang, G.L., Yang, B., Xu, X.J., *et al.* (2013) Research on Synergistic Effect of Microwave Irradiation-Fenton Oxidation Coupling Coagulation Process to Treat Dye Wastewater. *Advanced Materials Research*, **610-613**, 2028-2032.
- [38] Feng, Z., Xiao, H., *et al.* (2010) Advanced Treatment of Dyeing Wastewater towards Reuse by the Combined Fenton Oxidation and Membrane Bioreactor Process. *Journal of Environmental Sciences*, **22**, 1657-1665. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60303-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60303-X)
- [39] Almomani, F. and Baranova, E.A. (2012) Electro-Oxidation of Two Reactive Azo Dyes on Boron-Doped Diamond Electrode. *Water Science & Technology*, **66**, 465-471. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.180>
- [40] Cruz-González, K., Torres-Lopez, O., García-León, A.M., *et al.* (2012) Optimization of Electro-Fenton/BDD Process for Decolorization of a Model Azo Dye Wastewater by Means of Response Surface Methodology. *Desalination*, **286**, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.005>
- [41] 陶虎春, 石刚, 于太安, 等. PEI/MWCNT 修饰含铁电芬顿电极处理印染废水的研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2017, 53(5): 982-988.
- [42] Pajootan, E., Arami, M. and Rahimdokht, M. (2014) Discoloration of Wastewater in a Continuous Electro-Fenton Process Using Modified Graphite Electrode with Multi-Walled Carbon Nanotubes/Surfactant. *Separation & Purification Technology*, **130**, 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.04.025>
- [43] Deveei, E. II, *et al.* (2016) Integrated Process of Fungal Membrane Bioreactor and Photocatalytic Membrane Reactor for the Treatment of Industrial Textile Wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, **105**, 420-427. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.10.016>
- [44] 杨长秀, 王敏, 郭鹏瑶. 可见光催化耦合微生物一体化处理有机废水的研究[J]. 电镀与精饰, 2016, 38(6): 39-42.
- [45] 魏金枝, 张少平, 胡琴, 等. 三维粒子电极处理染料废水的效能及机制[J]. 环境工程学报, 2015, 9(4): 1715-1720.
- [46] 程爱华, 行瑶. Fenton 耦合微电解-混凝-吸附工艺处理氧化塘浓缩染料废水[J]. 印染助剂, 2017, 34(6): 31-34.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5485，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aep@hanspub.org