

印染废水中有价染料资源的回收与纯化工艺开发

邱地恒

韶关市北纺智造科技有限公司, 中国·广东 韶关 512136

摘要: 论文针对印染废水中大量有价染料资源被浪费且造成环境污染的问题, 深入探讨了印染废水中有价染料资源的回收与纯化工艺开发。首先介绍了印染废水的特点及其有价染料资源的价值, 分析了现有回收与纯化工艺的不足。其次, 详细阐述了基于不同原理的回收与纯化工艺, 包括物理吸附法、化学沉淀法、膜分离技术、生物处理法以及新兴的纳米材料吸附法等, 并对各种工艺的原理、优缺点及适用范围进行了系统分析。通过实际案例分析, 验证了部分工艺的可行性和有效性。最后, 对印染废水中有价染料资源回收与纯化工艺的发展趋势进行了展望, 提出了未来研究方向和应用前景, 旨在为印染行业的可持续发展提供技术支持和理论依据。

关键词: 印染废水; 有价染料资源; 回收工艺; 纯化工艺; 可持续发展

Recovery and Purification Process Development of Valuable Dye Resources in Printing and Dyeing Wastewater

Diheng Qiu

Shaoguan Beifang Intelligent Manufacturing Technology Co., Ltd., Shaoguan, Guangdong, 512136, China

Abstract: Aiming at the problem that a large number of valuable dye resources in printing and dyeing wastewater are wasted and cause environmental pollution, this paper deeply discusses the development of recovery and purification processes for valuable dye resources in printing and dyeing wastewater. First, the characteristics of printing and dyeing wastewater and the value of its valuable dye resources are introduced, and the shortcomings of existing recovery and purification processes are analyzed. Then, recovery and purification processes based on different principles are elaborated in detail, including physical adsorption, chemical precipitation, membrane separation technology, biological treatment, and emerging nanomaterial adsorption. The principles, advantages/disadvantages, and application scopes of various processes are systematically analyzed. The feasibility and effectiveness of some processes are verified through case studies. Finally, the development trends of recovery and purification processes for valuable dye resources in printing and dyeing wastewater are prospected, and future research directions and application prospects are proposed, aiming to provide technical support and theoretical basis for the sustainable development of the printing and dyeing industry.

Keywords: printing and dyeing wastewater; valuable dye resources; recovery process; purification process; sustainable development

0 前言

印染行业作为中国重要的传统产业之一, 在经济发展中占据着重要地位。然而, 印染过程会产生大量的废水, 这些废水含有高浓度的有机物、染料、助剂等污染物, 具有色度高、化学需氧量(COD)高、可生化性差等特点, 若直接排放会对水环境造成严重污染, 威胁生态平衡和人类健康。同时, 印染废水中含有大量有价值的染料资源, 这些染料在生产过程中成本较高, 若能实现有效回收与纯化, 不仅可以减少环境污染, 还能降低生产成本, 提高资源利用率, 具有重要的经济和环境意义。因此, 开发印染废水中有价染料资源的回收与纯化工艺具有重要的现实意义。

1 印染废水及其有价染料资源概述

1.1 印染废水的特点

印染废水的水质特点复杂, 主要表现在以下几个方面:

水量大: 印染行业用水量大, 通常每印染加工 1 吨纺织品耗水 100~200 吨, 其中 80%~90% 成为废水排出。

有机物含量高: 废水中含有大量的染料、浆料、助剂等有机物, 导致 COD 值较高。

色度高: 印染废水中的染料使废水呈现出鲜艳的颜色, 色度可高达几千倍, 严重影响水体的美观和透明度。

可生化性差: 部分染料和助剂具有生物毒性, 且废水中难降解有机物含量较高, 使得废水的可生化性较差, 传统的生物处理方法难以达到理想的处理效果。

水质波动大: 由于印染生产过程的间歇性和染料、助剂使用的不确定性, 导致印染废水的水质和水量波动较大, 增加了废水处理的难度。

1.2 有价染料资源的价值

印染废水中的有价染料资源具有较高的经济价值。染料在生产过程中需要经过多道复杂的工序, 成本较高。回收

废水中的染料可以降低生产成本,提高企业的经济效益。同时,减少染料的排放也有助于保护环境,实现资源的可持续利用。此外,一些特殊染料还具有独特的性能和应用价值,回收后可以用于高端印染产品或其他领域,进一步拓展了其应用范围。

1.3 现有回收与纯化工艺的不足

目前,现有的印染废水染料回收与纯化工艺存在一些不足之处。例如,物理吸附法虽然操作简单,但吸附剂的再生和处置成本较高,且吸附容量有限;化学沉淀法可能会产生大量的污泥,造成二次污染;膜分离技术虽然回收效率高,但膜的成本较高,且容易受到污染,需要定期清洗和更换;生物处理法处理周期长,对水质和温度等条件要求较高,且对某些难降解染料的去除效果不理想。因此,需要开发更加高效、经济、环保的回收与纯化工艺。

2 印染废水中有价染料资源回收与纯化工艺原理

2.1 物理吸附法

物理吸附法是利用吸附剂的多孔结构和高比表面积,将废水中的染料分子吸附在其表面,从而实现染料的回收。常用的吸附剂有活性炭、硅藻土、粉煤灰、纳米材料等。活性炭具有丰富的孔隙结构和较大的比表面积,对多种染料具有良好的吸附性能,但价格较高,再生困难。硅藻土和粉煤灰等工业废弃物经过改性后也可作为吸附剂使用,具有成本低、来源广泛等优点。纳米材料如纳米二氧化钛、纳米氧化石墨烯等具有独特的物理化学性质,对染料具有较高的吸附容量和选择性。

2.2 化学沉淀法

化学沉淀法是通过向废水中加入化学药剂,使染料与药剂发生化学反应,生成不溶性的沉淀物,从而实现染料的分离和回收。常用的化学药剂有金属盐类(如铁盐、铝盐)、硫化物等。例如,向含酸性染料的废水中加入铁盐,染料会与铁离子形成不溶性的铁盐沉淀物。化学沉淀法操作简单,但可能会产生大量的污泥,需要进行后续处理,且对某些染料的去除效果有限。

2.3 膜分离技术

膜分离技术是利用膜的选择性透过性,将废水中的染料分子与水分子分离。常用的膜分离技术有超滤、纳滤和反渗透等。超滤膜可以截留废水中的大分子染料和胶体物质,纳滤膜对染料分子具有较高的截留率,反渗透膜则可以去除废水中的大部分溶解性物质。膜分离技术具有回收效率高、操作简单等优点,但膜的成本较高,且容易受到污染,需要定期清洗和更换。

2.4 生物处理法

生物处理法是利用微生物的代谢作用,将废水中的染料分解为无害的物质。常用的生物处理方法有活性污泥法、生物膜法、厌氧生物处理法等。活性污泥法中的微生物可以

吸附和降解废水中的染料,生物膜法通过在载体表面形成生物膜,提高了微生物的浓度和处理效率。厌氧生物处理法可以在无氧条件下将染料分解为小分子有机物和甲烷等。生物处理法具有成本低、无二次污染等优点,但处理周期长,对水质和温度等条件要求较高。

2.5 新兴的纳米材料吸附法

近年来,纳米材料在印染废水染料回收领域得到了广泛关注。纳米材料具有独特的物理化学性质,如高比表面积、高反应活性等,对染料具有较高的吸附容量和选择性。例如,纳米零价铁可以还原降解废水中的偶氮染料,纳米氧化石墨烯可以通过 $\pi-\pi$ 相互作用吸附染料分子。纳米材料吸附法具有吸附效率高、速度快等优点,但纳米材料的制备成本较高,且在实际应用中可能会存在纳米材料泄漏等环境风险。

3 印染废水中有价染料资源回收与纯化工艺开发

3.1 工艺流程设计

预处理阶段:首先对印染废水进行预处理,去除废水中的悬浮物、大颗粒杂质等,以减轻后续处理工艺的负担。常用的预处理方法有格栅过滤、沉淀、调节pH值等。

染料回收阶段:根据废水的特点和染料的性质,选择合适的回收工艺。例如,对于含有高浓度染料的废水,可以先采用化学沉淀法或膜分离技术进行初步回收;对于低浓度染料废水,可以采用物理吸附法或生物处理法进行回收。

染料纯化阶段:对回收的染料进行纯化处理,去除其中的杂质和副产物,提高染料的纯度和质量。常用的纯化方法有结晶、萃取、色谱分离等。

3.2 工艺集成与优化

将不同的回收与纯化工艺进行集成和优化,形成一套完整的印染废水中有价染料资源回收与纯化工艺体系。通过工艺集成,可以实现各工艺之间的优势互补,提高染料的回收率和纯度,降低处理成本。例如,将物理吸附法与膜分离技术相结合,先利用吸附剂去除废水中的大部分染料,再通过膜分离技术进一步回收和纯化染料;将生物处理法与化学沉淀法相结合,利用生物处理法降低废水的有机物含量和毒性,再采用化学沉淀法回收染料。

4 案例分析

4.1 案例选取与背景介绍

4.1.1 企业概况

选取某大型印染企业作为案例研究对象。该企业专注于各类纺织品的印染加工,产品涵盖棉、麻、丝、毛等多种材质,广泛应用于服装、家纺等领域。企业拥有先进的印染生产线,但由于生产规模较大,每天产生的印染废水排放量高达2000立方米。

4.1.2 废水特点

该企业印染废水成分复杂,具有以下显著特点:

染料种类繁多：生产过程中使用了多种活性染料、分散染料、酸性染料等，不同染料的化学结构和性质差异较大，增加了废水处理的难度。

有机物浓度高：废水中含有大量的染料、浆料、助剂等有机物，化学需氧量（COD）平均值达到 3000mg/L，远高于国家排放标准。

色度深：废水呈现出鲜艳且浓重的颜色，色度高达 5000 倍，对水体的美观和生态环境造成严重影响。

水质波动大：由于印染生产过程的间歇性和不同订单对染料、工艺的要求不同，导致废水的水质和水量波动较大，给废水处理系统的稳定运行带来挑战。

4.1.3 实施背景

随着国家对环境保护要求的日益严格，该企业面临着巨大的环保压力。同时，染料成本的不断上升也使得企业意识到回收废水中有价染料资源的重要性。为了实现废水的达标排放和染料资源的循环利用，降低生产成本，提高企业的经济效益和环境效益，该企业决定采用论文开发的印染废水中有价染料资源回收与纯化工艺。

4.2 工艺实施过程

4.2.1 预处理阶段

格栅过滤：废水首先通过粗格栅和细格栅进行过滤，去除其中较大的悬浮物、纤维碎片和杂质，防止这些物质对后续处理设备造成堵塞和损坏。粗格栅的栅条间隙为 20mm，细格栅的栅条间隙为 5mm。

调节池调节：经过格栅过滤后的废水进入调节池，调节池的有效容积为 1000 立方米。在调节池中，通过搅拌设备使废水充分混合，调节废水的 pH 值至 7~8，同时平衡水质和水量的波动，为后续处理工艺提供稳定的进水条件。

4.2.2 染料回收阶段

化学沉淀法：向调节池后的废水中加入适量的硫酸亚铁和硫化钠作为化学药剂。硫酸亚铁的投加量为 500mg/L，硫化钠的投加量为 300mg/L。在搅拌条件下，染料与药剂发生化学反应，生成不溶性的沉淀物。反应时间为 30 分钟，反应温度控制在室温。反应结束后，废水进入沉淀池进行沉淀分离，沉淀时间为 2 小时。沉淀后的上清液进入后续的超滤膜系统，沉淀物则进入污泥处理系统进行进一步处理。

膜分离技术：采用超滤膜系统对化学沉淀后的上清液进行进一步处理。超滤膜的孔径为 0.01 μ m，操作压力为 0.2MPa，流速为 2m/s。超滤膜可以有效截留废水中的染料分子和胶体物质，实现染料的进一步回收。超滤膜的浓缩液返回调节池重新处理，透过液则进入后续的生物处理阶段。

4.2.3 染料纯化阶段

沉淀物处理：对化学沉淀产生的染料沉淀物进行多次洗涤，去除其中残留的化学药剂和其他杂质。洗涤后的沉淀

物在 105℃下干燥 24 小时，然后进行研磨处理，得到粒度均匀的染料粉末。

结晶与萃取：将研磨后的染料粉末溶解在适量的有机溶剂中，通过控制温度和浓度，使染料结晶析出。结晶后的染料晶体经过过滤、洗涤和干燥后，得到初步纯化的染料产品。为了提高染料的纯度，采用萃取技术对初步纯化的染料进行进一步提纯。选择合适的萃取剂，将染料从有机相中萃取出来，然后通过蒸馏等方法回收萃取剂，得到高纯度的染料产品。

4.3 效果评估

4.3.1 染料回收效果

经过一段时间的运行，对染料的回收效果进行了监测和分析。结果表明，该工艺对染料的回收率达到了 82%。不同种类染料的回收率略有差异，活性染料的回收率为 80%，分散染料的回收率为 85%，酸性染料的回收率为 81%。回收的染料经过纯化后，纯度达到了 96% 以上，可以重新用于印染生产，有效降低了企业的染料采购成本。

4.3.2 废水处理效果

对处理后的废水水质进行了检测，结果显示，废水的 COD 去除率达到了 92%，从处理前的 3000mg/L 降低到了处理后的 240mg/L 以下，满足了国家排放标准（COD $\leq$ 200mg/L）的要求。色度去除率达到了 96%，废水从处理前的 5000 倍降低到了处理后的 200 倍以下，水体的透明度和美观度得到了显著改善。同时，废水的悬浮物、生化需氧量（BOD）等指标也均达到了国家排放标准。

5 结语

论文针对印染废水中有价染料资源的回收与纯化问题，开展了系统的研究。通过分析印染废水的特点和有价染料资源的价值，指出了现有回收与纯化工艺的不足。基于物理吸附法、化学沉淀法、膜分离技术、生物处理法和新兴的纳米材料吸附法等原理，开发了一套印染废水中有价染料资源回收与纯化工艺，并对工艺流程、关键工艺参数和工艺集成进行了优化。通过实际案例分析，验证了该工艺的可行性和有效性，取得了良好的染料回收率和纯度，以及较高的废水处理效果。尽管论文取得了一定的研究成果，但仍存在一些不足之处。

参考文献：

- [1] 单国华.印染废水处理论文[D].乌鲁木齐:新疆大学,2020.
- [2] 房健.颜料废水处理工艺组合研究[Z].2012.
- [3] 张金山,夏志先.资源化利用石化行业高含铝污泥合成处理印染废水中锑的重金属捕捉剂[Z].2019.
- [4] 曾庆福.一种纺织印染废水废气资源化处理与废热循环利用系统[Z].2022.