

印染废水处理技术进展及其对环保的贡献

沈涛 谢川达 潘映 黄坚 胡滨

浙江嘉华印染有限公司，浙江绍兴，312000；

摘要：随着社会对绿色发展的重视，印染废水处理受到了越来越多的社会关注。这种废水不仅对生态环境构成威胁，同时也对人类健康带来潜在风险。有效处理印染废水并减轻其环境污染问题，已经成为国内外研究者聚焦的重点领域。目前，针对印染废水的处理技术主要包括物理处理技术、化学处理技术和生物处理技术。本研究针对印染废水的水质特性、来源及处理技术进行了系统分析。概述了印染废水成分复杂、色度高、碱度高等特点，并详细探讨了退浆废水、煮炼废水、漂白废水等不同来源的废水特性。在此基础上，分析了物理处理、化学处理、生物处理等多种废水处理技术的要点，并强调了联合处理技术在实际应用中的重要性。最后，本文总结了印染废水处理技术在减少污染物排放、节约水资源、促进可持续发展等方面的环保贡献，为印染行业的绿色转型提供了理论支持和实践指导。

关键词：印染废水；处理技术；环保贡献；可持续发展；

DOI: 10.69979/3029-2700.24.4.056

引言

印染废水主要产生于棉、麻、化学纤维及其混纺织物，以及丝绸等材料的印染和毛织物的染整过程。它包括了退浆、煮炼、漂白、丝光、染色、印花和后整理等多个工序所排放的废水。这些废水的特性深受处理纤维的类型和加工工艺的影响。普遍来看，印染废水具有成分复杂多样、色泽深、碱性较强、生化处理难度大以及水质波动显著等特点。为确保水环境的安全与生态平衡，印染废水处理需严格遵守国家排放标准。

1 印染废水的特性

印染废水具有复杂的成分，高色度，pH值波动显著，生化性差，化学需氧量（COD）水平高。水体中蕴含的有机及无机物质，尤其是芳香族衍生物中的色素基团，不仅使水质变得浑浊，降低了透明度，同时也减少了水中的溶解氧含量，这对水生生物的生长与繁殖构成了威胁。这些有机成分在消耗氧气的同时，也干扰了水中微生物的代谢活动。废水中难以降解的染料成分影响水体透光性，严重阻碍了鱼类及其他水生物的生存和繁殖，从而削弱了水体的自然净化功能。另外，废水中的有害重金属离子如果渗透到环境中，可能会通过食物链最终积累在人体内，对公共健康造成极大的风险。因此，针对印染废水处理的标准需要更加严格，开发既环保又高效的废水处理技术已变得迫在眉睫。

2 印染废水来源分析

2.1 退浆废水

退浆废水主要来源于纯棉或混棉纺织品的加工过程中，这种废水在印染厂产生的总废水中占据了大约15%的比例。这些废水中含有酸性物质和酶类污染物，使得废水呈现出淡黄色的外观。其污染程度与所使用的浆料类型以及浆料的浓度密切相关。

2.2 煮炼废水

煮炼废水是在纺织工业中，织物经过高温煮炼过程中产生的废水。在这个过程中，通常会使用烧碱（氢氧化钠）和肥皂等碱性剂来去除织物上的杂质和天然油脂。由于这些碱性剂的加入，煮炼废水的pH值通常会非常高，甚至可以达到13，显示出其强烈的碱性特性。此外，煮炼废水通常呈现出深褐色，这是因为煮炼过程中释放出的天然色素和杂质溶解在水中所致。这种废水如果不经过适当的处理，直接排放会对环境造成严重的污染。

2.3 漂白废水

漂白废水通常含有过氧化氢和亚氯酸钠的分解产物，这些成分在环境中分解后，对环境的污染程度相对较轻。通过物理处理方法，例如沉淀、过滤和吸附等，可以有效地去除这些废水中的有害物质，使其达到排放标准，甚至可以实现再利用，从而减少对环境的影响，

实现资源的循环利用。

2.4 丝光废水

将丝光废水进行循环利用，应用于退浆工序，具有显著的循环使用优势。通过这种方式，不仅可以减少废水排放，降低环境污染，还能节约水资源，提高生产效率。丝光废水经过适当的处理和净化，可以达到再次使用的标准，从而在退浆操作中发挥重要作用。这种循环利用的方法不仅经济环保，还能提升企业的可持续发展能力。

2.5 染色废水

染色废水的水质波动性非常大，其中不仅含有大量的助色剂和染料，而且其 pH 值通常超过 10，这使得其中的许多成分难以降解。这些难降解的成分给废水处理带来了极大的挑战。此外，印花废水的含盐量极高，污染程度相当严重，因此其处理过程受到了广泛的关注。

3 印染废水处理技术要点分析

3.1 物理处理

(1) 物理吸附法

物理吸附法，作为处理漂白废水的一种常规技术，主要通过硅胶泥、活性粘土等吸附材料对污染物进行初级捕捉。不过，这种吸附方法的应用有其局限性，一般只适用于处理标准的漂白废水。

(2) 膜分离技术

膜分离技术是一种高效、低能耗、环保的水处理方法，广泛应用于水处理、废水处理和污水回收等领域。该技术利用半透膜的选择性透过性，将溶液中的不同成分进行分离。主要分为微滤、超滤、纳滤和反渗透几种类型，每种技术在水处理中具有特定的应用范围和特点。

(3) 磁分离技术

磁分离技术利用磁场作用高效分离有害物质，实现净化同时显著降低处理成本。由于物质磁性分为顺磁性、非磁性等类别，需根据磁性强弱特性进行专门处理，以提升污染物吸附效率。

(4) 其他处理技术

近年来，印染行业普遍采用并广泛推行物理池调节与沉淀技术来处理废水。该技术包括构建调节池，以应

对每日 5000 吨的废水处理需求，并设定了 4 小时的废水停留时间。在沉淀阶段，运用了平流式、竖流式以及福流式等多种沉淀方法，目的是对污水进行有效的净化处理。

3.2 化学处理

(1) 絮凝处理技术

物理池调节与沉淀技术主要适用于大型及中型印染企业的废水治理，表现出卓越的适用性。该技术因其低成本的特点，与印染企业的经济需求相契合，并且具备优秀的脱色能力。但是，絮凝处理技术在实际应用中存在一定的限制，其处理效果在很大程度上取决于印染颜料的种类。对于疏水性的分散染料，絮凝技术可以有效地达到处理标准和效率；然而，在处理水溶性活性染料时，絮凝法的处理效果就不那么理想了。因此，根据废水特性选择合适的絮凝剂，是废水循环利用处理成功的关键所在。

(2) 臭氧氧化技术

氧化技术，利用臭氧和高温处理等方法，能够高效地去除废水中的颜色。虽然这种技术的处理费用较高，未来的研究仍需集中在成本降低上。臭氧通过与有机物质发生化学反应来完成氧化作用，并对污染物进行吸附。在高温处理部分，空气氧化法和湿式氧化法均展现了出色的污染物吸附能力。研究结果显示，当臭氧的投加量为 0.886 克臭氧/克污染物时，脱色率可以达到 80%。通过在反应器内部安装恰当的隔板，可以显著降低臭氧的消耗量。因此，在臭氧氧化脱色过程中，使用间歇式反应器是提升脱色效率的关键策略。然而，需要指出的是，臭氧处理对于不溶于水的硫化涂料等染料的脱色效果并不佳，这一点需要特别留意。

(3) 中和混凝法

中和混凝法通过化学手段调整废水的 pH 值，该方法在处理过程中主要扮演辅助角色。它能够有效去除废水中的初级污染物，但对于更细小的颗粒则效果有限。

(4) 电解法以及气浮法

电解法在废水处理中以其出色的脱色性能而著称，并且具有广泛的适用性，对媒体染料和分散染料等污染水体的处理成功率超过 90%。然而，电解法的一个显著缺点是电能消耗较高，因此在使用时必须权衡电力成本。

另一方面,气浮法是一种根据污染物特性设计的处理技术,尤其适用于印染行业产生的废水,其中污染物多为有机胶体和油脂颗粒,这些物质在混合凝结后能够浮到水面。电解法在处理印染废水时表现优异,能够实现高达70%的综合脱色率。不过,它在降低化学需氧量(COD)方面的效果不尽人意。考虑到电解法的化学作用,其去除效率按以下顺序递减:硫化染料、还原染料、酸性染料、活性染料、中性染料、直接染料和阳离子染料。

(5) Fenton 氧化法

Fenton 氧化技术利用 Fe^{2+} 作为催化剂,促使 H_2O_2 分解,生成具有强氧化性的羟基自由基($OH\cdot$)。这些自由基能迅速与废水中的有机污染物发生反应,通过一系列连锁反应,将有机污染物转化为二氧化碳和水,从而有效降低废水的化学需氧量(COD)。研究表明, H_2O_2 的加入量及其加入方式、 Fe^{2+} 的添加量、印染废水初始的 pH 值以及反应时间等因素,对于 Fenton 试剂的处理效果具有决定性影响。

(6) 超声波氧化法

超声波氧化技术利用超声波在水体中引发空化现象,形成局部的高温和高压环境。在此条件下,产生的羟基自由基($OH\cdot$)和过氧化氢(H_2O_2)能够形成超临界水,从而加速污染物的分解。研究指出,随着反应温度的升高,化学需氧量(COD)的去除效率会相应提升,但超声波作用时间的增加可能会使 COD 去除率降低。尽管超声波氧化技术具有潜力,但由于成本较高,该技术目前尚未广泛推广使用。

3.3 生物处理

(1) 好氧处理技术

这项技术主要通过增加废水中的溶解氧含量,创造有利于微生物生长的环境。在这一过程中,好氧微生物扮演着过滤器的角色,有效去除污染物。具体应用技术包括生物膜法和活性污泥法。其中,活性污泥法在废水脱色方面表现突出,脱色率高达95%以上。与生物膜法相比,活性污泥法的成本更为合理,处理后的废水完全符合我国的排放标准,无需进行额外的处理。

(2) 厌氧处理技术

该技术的目标是处理各种浓度的废水,虽然它对有机物的直接去除作用可能不显著,但它能大幅提高废水

的生化降解性,为废水的回收利用打下基础。厌氧处理技术能够分解染料中的甲烷、三苯等化学物质。在采用厌氧处理技术时,应当与好氧技术相结合,遵循综合治理的原则。

(3) 生物强化技术

生物强化技术专注于处理废水中的重金属成分,其核心在于根据不同微生物的种类与数量,创造一个促进微生物生长繁殖的环境。通过引入特定的细菌微生物,并利用这些微生物的生物降解能力,可以有效地去除废水中的重金属污染物,同时提升污染物降解的效果。

(4) 联合处理技术

印染废水处理是水处理领域的挑战,因为其含有高浓度有机物和复杂成分。研究者们结合物理、化学和生物技术,特别是膜-生物反应器(MBR)技术,提高了处理效率和出水品质。邱涛团队使用一体式 MBR 预处理高浓度印染废水,结果显示在特定操作参数下,出水 COD 浓度稳定在约 1000 mg/L,去除率高达 83%。陈桂娥团队将 UV 氧化技术与 MBR 结合,对模拟印染废水进行处理,发现该组合工艺对 TOC 的平均去除率达到了 89%,提高了出水水质和环境安全性。周林成团队通过固定化微生物技术,对退浆工序出水进行中试研究,最终出水 COD_{Cr} 浓度降至 95 mg/L,总去除率接近 80%。这些研究展示了综合运用多种技术处理印染废水的有效性,为实现废水达标排放提供了支持,并有望在更广泛的工业废水处理领域发挥作用。

4 印染废水处理技术的综合应用与环保贡献

4.1 综合应用

在提升印染废水处理效能的实际项目中,通常采纳多元化的处理策略,整合物理、化学及生物处理技术。通过细致调整各项工艺参数,保障各处理环节间的协同效应,从而显著增强废水处理的综合性能。具体而言,物理处理手段,如沉降、筛滤和吸附等,有效去除了废水中的悬浮颗粒和部分有机杂质;化学处理方式,如絮凝、氧化还原反应及酸碱中和等,针对难以分解的有机及无机物质进行深度清除;生物处理技术,包括活性污泥法和生物膜法等,依赖微生物活动分解废水中的有机污染物。巧妙地结合这些技术,并针对各处理单元的操作

作条件进行优化，能够有效提高印染废水的处理效率，确保其满足环保排放的要求。

4.2 环保贡献

(1) 减少污染物排放，保护环境

印染废水处理技术能够有效地去除废水中的有机物、色度、悬浮物等多种污染物，从而显著降低废水对环境的危害。通过这种先进的处理技术，可以大幅度减少废水中的有害物质排放，保护我们的生态环境，确保水资源的清洁和安全。

(2) 节约水资源，提高利用效率

通过应用废水处理技术，可以实现废水的循环利用，从而降低对新鲜水资源的消耗。这种技术不仅有助于节约宝贵的水资源，还能提高水资源的利用效率。通过循环利用废水，我们可以减少对地下水和地表水的依赖，从而缓解水资源短缺的问题。

(3) 促进可持续发展，实现绿色转型

印染废水处理技术的广泛推广与应用，对于印染行业的绿色转型具有重要意义。通过采用先进的废水处理技术，印染企业可以减少对环境的污染，降低生产过程中的资源消耗。这不仅有助于实现经济社会与生态环境

的和谐发展，还能推动印染行业向更加可持续的方向发展，为实现绿色经济贡献力量。

结论

印染废水处理技术的应用对于环境保护和资源节约具有重要作用，通过综合运用物理、化学和生物处理方法，能有效去除废水中的有害物质，提高水质，减少对环境的污染，同时促进水资源的循环利用和印染行业的绿色转型，实现经济社会与生态环境的和谐发展。

参考文献

- [1] 庞悦, 楼洪海, 郜睿, 等. 芬顿氧化深度处理实际印染废水研究[J]. 水处理技术, 2023, 49(5): 40-44.
- [2] Baten S H, 杨涛语, 李泽雄, 等. 亚铁掺杂型 MIL-53(Fe) 光-芬顿催化材料的制备及其在印染废水中的应用[J]. 印染助剂, 2021, 38(7): 36-40.
- [3] 吉生军, 严正星. 预处理-反渗透耦合工艺深度处理印染废水[J]. 现代化工, 2021, 41(08): 214-217.
- [4] 高哲仪. 二氧化钛光催化降解印染废水研究[J]. 化工生产与技术, 2023, 29(3): 21-24.
- [5] 梁梦霖. 印染工业废水处理技术与工程实例应用研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(14): 16-18.