

工业废水生态处理工艺的创新与实践

庞振林

高州市广业环保有限公司, 中国·广东 高州 525200

摘要: 随着工业化进程的加速, 工业废水排放问题日益突出, 对生态环境造成了严重威胁。传统的工业废水处理方法往往存在处理效率低、运行成本高、二次污染等问题。因此, 探索和创新工业废水生态处理工艺, 实现废水的高效、低成本、无污染处理, 具有重要的现实意义和环保价值。论文综述了工业废水生态处理工艺的创新进展, 分析了其在实际应用中的效果与问题, 并提出了相应的改进建议, 以期工业废水处理提供新的思路和方法。

关键词: 工业废水; 生态处理; 工艺创新; 环保实践

Innovation and Practice of Ecological Treatment Process of Industrial Wastewater

Zhenlin Pang

Gaozhou Guangye Environmental Protection Co., Ltd., Gaozhou, Guangdong, 525200, China

Abstract: With the acceleration of industrialization, the problem of industrial wastewater discharge has become increasingly prominent, which poses a serious threat to the ecological environment. Traditional industrial wastewater treatment methods often have problems such as low treatment efficiency, high operation cost and secondary pollution. Therefore, it is of great practical significance and environmental protection value to explore and innovate the ecological treatment process of industrial wastewater and realize the high efficiency, low cost and pollution-free treatment of wastewater. This paper summarizes the innovative progress of ecological treatment process of industrial wastewater, analyzes the effects and problems in practical application, and puts forward corresponding improvement suggestions, in order to provide new ideas and methods for industrial wastewater treatment.

Keywords: industrial wastewater; ecological treatment; process innovation; environmental protection practice

0 前言

工业废水是指工业生产过程中产生的废水, 其成分复杂, 含有重金属、有毒有害物质、难以降解的有机物等, 给处理带来极大难度。传统工业废水处理方法, 如物理法、化学法、生物法等, 虽然在一定程度上能够去除废水中的污染物, 但往往存在处理效率低、运行成本高、二次污染等问题。因此, 探索新的、高效的工业废水处理方法, 特别是生态处理工艺, 已成为当前环保领域的研究热点。

1 工业废水生态处理工艺概述

工业废水生态处理工艺是一种绿色、可持续的废水处理技术, 它充分利用自然界的生物、植物、微生物等生态因子, 通过复杂的物理、化学和生物作用机制, 有效转化废水中的污染物为无害或低毒物质。这种工艺不仅能降耗, 而且处理效率高, 能够大幅度降低废水中的有害物质含量, 同时减少污泥的产生, 避免了传统处理方法可能带来的二次污染问题^[1]。此外, 生态处理工艺还具有良好的环境适应性和稳定性, 能够在不同水质和气候条件下稳定运行。随着环保意识的增强和技术的不断进步, 工业废水生态处理工艺将成为未来工业废水处理领域的重要发展方向, 为实现水资源的可持续利用和生态环境的保护提供有力支持。

2 工业废水生态处理工艺的创新技术

2.1 生物处理技术

生物处理技术是工业废水生态处理工艺的核心。它利用微生物的新陈代谢作用, 将废水中的有机物转化为无害物质。近年来, 生物处理技术在工艺创新方面取得了显著进展。高效生物反应器是生物处理技术的重要创新。它通过优化反应器结构、提高微生物活性、提高传质效率等手段, 实现了废水的高效处理。例如, 序批式活性污泥法(SBR)、氧化沟、生物膜法等工艺, 均是在传统活性污泥法基础上进行改良发展的。这些工艺具有处理效率高、占地面积小、运行灵活等优点, 适用于各种规模的工业废水处理。微生物菌群优化是生物处理技术的另一大创新点。通过筛选、驯化、培养高效降解菌, 可以显著提高微生物对特定污染物的降解能力^[2]。例如, 针对含有难降解有机物的工业废水, 可以筛选出具有高效降解能力的微生物菌群, 进行针对性处理。同时, 通过优化微生物的生长环境, 如温度、pH值、溶解氧等, 可以进一步提高微生物的降解效率。固定化微生物技术是将微生物固定在载体上, 形成固定化微生物体系, 以提高微生物的稳定性和处理能力。这种技术可以克服游离微生物在处理过程中易流失、难回收的缺点, 同时提高微生物对污染物的吸附和降解能力。固定化微生物技术已广泛应用于印染、

制药、化工等领域的工业废水处理中。

2.2 高级氧化技术

高级氧化技术是通过产生具有强氧化性的自由基，将废水中的难降解有机物氧化为低毒或无毒的小分子物质。这种技术具有处理效率高、反应速度快、适用范围广等优点。芬顿法是一种典型的高级氧化技术，它利用 Fe^{2+} 和 H_2O_2 的催化作用，产生具有强氧化性的羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$)，将废水中的有机物氧化为 CO_2 和 H_2O 。芬顿法具有操作简单、反应迅速、处理效果好等优点，但存在药剂消耗量大、运行成本高等问题。臭氧氧化法是利用臭氧的强氧化性，将废水中的有机物氧化为低毒或无毒物质^[5]。臭氧氧化法具有处理效率高、无二次污染等优点，但臭氧的制备和储存成本较高，限制了其广泛应用。光催化氧化法是利用半导体光催化剂在光照条件下产生的光生电子和空穴，与废水中的有机物发生氧化还原反应，将其氧化为低毒或无毒物质。光催化氧化法具有反应条件温和、处理效率高、无二次污染等优点，但光催化剂的稳定性和再生性仍需进一步研究。

2.3 膜分离技术

膜分离技术是利用膜的选择性透过性，将废水中的不同成分进行分离、浓缩和纯化。这种技术具有处理效果好、能耗低等优点，但膜污染和膜寿命等问题仍需进一步解决。微滤和超滤是膜分离技术中的两种基本方法^[4]。它们通过物理筛分作用，将废水中的悬浮物、胶体、细菌等杂质截留在膜表面或膜孔内，从而实现废水的净化。微滤和超滤具有操作简单、处理效果好等优点，但膜污染和膜寿命等问题限制了其长期稳定运行。纳滤和反渗透是膜分离技术中的高级方法。它们通过选择性透过作用，将废水中的离子、小分子有机物等杂质截留在膜的一侧，从而实现废水的深度净化。纳滤和反渗透具有处理效果好、出水水质高等优点，但膜成本高、运行压力大等问题仍需进一步研究。

2.4 生态湿地技术

生态湿地技术是利用湿地植物的吸收、吸附、降解等作用，将废水中的污染物转化为无害物质或低毒物质。这种技术具有能耗低、处理效果好、生态环保等优点。人工湿地是生态湿地技术的一种重要形式^[5]。它通过模拟自然湿地的生态环境，构建人工湿地系统，利用湿地植物的根系、微生物的降解作用等，将废水中的污染物去除。人工湿地具有处理效果好、运行成本低、生态环保等优点，但占地面积大、易受气候影响等问题限制了其广泛应用。潜流湿地是人工湿地的一种改进形式。它通过将废水引入湿地底部，利用湿地植物的根系和微生物的降解作用，将废水中的污染物去除。潜流湿地具有处理效率高、占地面积小等优点，但运行维护成本较高，且易受水质变化影响。

3 工业废水生态处理工艺的实践应用

3.1 印染废水处理

印染废水由于含有大量难降解有机物和色度，一直是

废水处理的难点。然而，通过生物处理技术结合高级氧化技术的实践应用，印染废水的处理难题得到了有效解决。例如，某印染企业引入了 SBR（序批式活性污泥法）生物反应器，该反应器通过周期性的运行方式，实现了对印染废水中有机物的有效降解。同时，结合芬顿法高级氧化技术，可以进一步去除废水中的色度和难降解有机物，使出水水质达到了国家排放标准。

3.2 制药废水处理

制药废水中的有毒有害物质和难降解有机物含量较高，处理难度较大。然而，通过生物处理技术结合膜分离技术的实践应用，制药废水的处理效果得到了显著提升^[6]。例如，某制药企业采用了序批式活性污泥法结合超滤膜的处理工艺。序批式活性污泥法通过生物降解作用去除废水中的有机物，而超滤膜则进一步截留和去除废水中的悬浮物、胶体以及部分溶解性有机物，从而确保出水水质达到国家排放标准。

3.3 化工废水处理

化工废水中含有大量重金属、有机物和无机盐等污染物，处理难度相对较大。然而，通过生物处理技术结合生态湿地技术的实践应用，化工废水的处理效果同样得到了显著提升^[7]。例如，某化工企业引入了氧化锌生物反应器，该反应器通过生物降解作用去除废水中的有机物和无机盐。同时，结合人工湿地技术，利用湿地植物和微生物的协同作用，进一步去除废水中的重金属和难降解有机物，使出水水质达到了国家排放标准。

4 工业废水生态处理工艺存在的问题

4.1 复杂水质适应性挑战

工业废水的水质成分复杂多变，含有多种有毒有害物质、难降解有机物以及重金属等污染物。这种复杂性对生态处理工艺的适应性提出了极高要求。不同水质条件下的微生物活性、降解效率及稳定性差异显著，导致处理效果难以保证。因此，如何提升生态处理工艺对不同工业废水水质的适应性，是当前面临的一大挑战。

4.2 生态系统稳定性与可持续性

工业废水生态处理工艺依赖于构建的人工生态系统，如人工湿地、生态塘等，这些系统需要长期稳定运行以维持其处理效能^[8]。然而，在实际应用中，生态系统的稳定性往往受到多种因素的制约，如气候条件、水质波动、外来物种入侵等。这些因素可能导致生态系统失衡，进而影响处理效果。此外，如何确保生态系统的长期可持续性，避免退化或失效，也是亟待解决的问题。

4.3 处理规模与效率瓶颈

随着工业规模的扩大和废水排放量的增加，对生态处理工艺的处理规模和效率提出了更高的要求。然而，当前许多生态处理工艺在处理大规模废水时，面临处理效率下降、占地面积大、投资成本高等问题。如何突破这些瓶颈，实现

高效、经济、环保的工业废水处理，是当前工业废水生态处理工艺面临的重要课题。

5 优化工业废水生态处理工艺的措施

5.1 提升水质适应性

针对工业废水水质复杂多变的问题，强化预处理环节至关重要。预处理旨在去除废水中的悬浮物、油脂、重金属等易对后续生态处理造成干扰的物质。通过物理法（如格栅、沉淀、气浮）、化学法（如混凝、中和、氧化还原）或物理化学法（如微滤、超滤、反渗透）的组合应用，可以有效减轻后续生态处理系统的负担，提高整体处理效率。微生物是生态处理工艺的核心，其活性和群落结构直接影响处理效果。通过筛选和培育高效降解菌种，如耐盐、耐重金属、耐有机毒物的微生物，可以显著提升系统对复杂水质的适应性。此外，采用生物强化技术，如固定化微生物、生物膜反应器等，能够进一步提高微生物的降解能力和稳定性，确保处理效果。

5.2 增强系统稳定性与可持续性

智能化监控系统的引入，可以实时监测水质变化、微生物活性、系统运行状态等关键参数，及时预警并调整处理策略，从而确保系统稳定运行。通过大数据分析，可以优化工艺参数，提高处理效率，同时降低能耗和运营成本。智能化监控还能实现远程操控和自动化管理，减轻人工负担，提高管理效率。为了维护生态系统的稳定性和可持续性，需加强对人工湿地、生态塘等生态处理单元的保护和恢复。这包括控制外来物种入侵，防止水质恶化，保持生物多样性等。通过科学规划和管理，如合理设计水流路径、植物配置、基质选择等，可以优化生态系统的结构和功能，提高其对污染物的去除能力和恢复能力。此外，定期评估生态系统的健康状况，及时采取措施进行修复和维护，也是确保系统长期稳定运行的关键。

5.3 突破处理规模与效率瓶颈

模块化设计是应对大规模废水处理的有效策略。通过将整个处理系统划分为多个独立但相互联系的模块，可以灵活调整处理能力，满足不同规模的废水处理需求。模块化设计还便于施工、安装和维护，降低了投资成本和运营风险。通过优化模块间的连接和协调，可以实现资源的有效利用和废水的高效处理。高效反应器技术的应用，如膜生物反应器（MBR）、序批式活性污泥法（SBR）及其改良型（如 ICAS、MSBR 等），可以显著提高处理效率，同时减少占地面积和投资成本。这些反应器通过优化微生物的生长环境和反应条件，如提高生物量、延长污泥龄、优化曝气方式等，实现了对污染物的快速、高效降解。此外，采用先进的膜分离技术，如超滤、纳滤等，可以进一步去除废水中的微小颗

粒、溶解性有机物和重金属等，提高出水水质。

5.4 促进技术创新与产学研合作

技术创新是工业废水生态处理工艺持续进步的核心驱动力。增加科研投入，激发创新活力，能不断催生高效、环保、经济的废水处理新技术。为此，建立产学研合作机制至关重要，它促进了科研成果与实际应用的紧密结合，加速了新技术从实验室到工业现场的转化。此外，搭建行业交流平台，强化信息共享和技术交流，不仅能提升行业内整体技术水平，还能促进技术的快速传播和广泛应用，从而推动整个工业废水处理行业的持续升级和健康发展，为环境保护和可持续发展贡献力量。

6 结语

工业废水生态处理工艺作为一种高效、环保的废水处理方法，具有广阔的应用前景和发展潜力。通过加强技术创新和工艺优化，不断提高处理效率和稳定性，降低运行成本和能耗，避免或减少二次污染和生态影响，可以推动工业废水生态处理工艺的广泛应用和持续发展。未来，随着智能化、自动化技术、资源化利用和循环经济的发展，工业废水生态处理工艺将迎来更加广阔的发展空间和机遇。同时，也需要加强政策引导和支持，推动产学研用深度融合，促进工业废水生态处理技术的创新与应用，为生态环境保护和经济可持续发展做出更大的贡献。

参考文献：

- [1] 王京敏,王迪迪,王明昊,等.纺织印染行业废水处理工艺及污泥处置标准化的研究[J].中国标准化,2024(20):77-80+105.
- [2] 杨海娇,马晓龙,李雨航,等.某工业园区污水处理厂Bardenpho工艺设计与运行[J].中国给水排水,2024,40(18):80-84.
- [3] 苏泽林,罗皓百.某工业园区高磷废水处理工艺设计实例[J].广东化工,2024,51(17):134-135+133.
- [4] 梁丽娟.冶金工业废水处理工艺与优化[J].新疆钢铁,2024(3):18-20.
- [5] 孙曰平,张玉全,王吉祥.环保理念下的制浆造纸废水处理工艺优化[J].中华纸业,2024,45(8):92-94.
- [6] 董海威.化工工业废水的处理工艺分析[J].清洗世界,2024,40(8):39-41.
- [7] 蒙东星.高效反渗透废水处理工艺研究[J].中国新技术新产品,2024(14):119-121.
- [8] 姚苏桃.酒类废水处理工艺分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(13):14-16.

作者简介：庞振林（1980-），男，中国广东湛江人，中级工程师，从事污水处理工程科研、设计、建设及运营管理研究。