

污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势

郝亚莉 苏鹏飞

江化微（镇江）电子材料有限公司，江苏 镇江 212006

[摘要] 伴随着人类社会和科技的快速进步，污水生化处理技术正经历着快速发展和持续迭代的阶段。新工艺、新反应器，以及新功能微生物与生化代谢途径的不断提出、发现和解析，显著推动了污水处理技术的升级与进步。这些技术创新不仅提高了污水处理的效率和水质净化水平，还在节能减排、减少化学物质使用以及资源回收利用方面展现了巨大潜力。然而，当前面临的挑战也同样不可忽视。其中包括如何有效处理和去除新兴污染物（如微塑料和药物残留）、如何实现污水处理过程的智能化和自动化控制，以及如何在经济可行的前提下管理和降低处理成本。这些挑战需要跨学科的合作和持续的创新，以便更好地应对日益严峻的环境和资源管理压力。

[关键词] 污水生化处理工艺；发展阶段化技术特征；未来趋势

DOI: 10.33142/sca.v7i9.13407

中图分类号: X741

文献标识码: A

Technological Characteristics and Future Trends of Phased Development of Sewage Biochemical Treatment Process

HAO Yali, SU Pengfei

Jianghua Microelectronics (Zhenjiang) Electronic Materials Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212006, China

Abstract: With the rapid progress of human society and technology, sewage biochemical treatment technology is undergoing a stage of rapid development and continuous iteration. The continuous proposal, discovery, and analysis of new processes, new reactors, and new functional microorganisms and biochemical metabolic pathways have significantly promoted the upgrading and progress of sewage treatment technology. These technological innovations not only improve the efficiency of sewage treatment and the level of water purification, but also demonstrate enormous potential in energy conservation, emission reduction, reduction of chemical use, and resource recycling. However, the challenges currently faced cannot be ignored. This includes how to effectively treat and remove emerging pollutants such as microplastics and drug residues, how to achieve intelligent and automated control of sewage treatment processes, and how to manage and reduce treatment costs while being economically feasible. These challenges require interdisciplinary collaboration and continuous innovation to better cope with the increasingly severe environmental and resource management pressures.

Keywords: sewage biochemical treatment process; technological characteristics of phased development; future trends

引言

污水生化处理工艺的发展历程体现了人类在处理废水方面的持续创新和进步。从最初的传统活性污泥法到现代的复合生物处理法，技术逐步演变并逐步优化，以应对日益复杂的环境挑战和水资源管理需求。这些技术在提高水质净化效率的同时，也致力于降低能耗、减少化学物质的使用，以及实现资源的有效回收利用。随着科技和社会经济的进步，未来污水生化处理工艺的发展趋势尤为重要。智能化控制与自动化技术的应用将成为关键驱动力，通过实时数据监测和智能决策系统，实现污水处理过程的精细化管理和优化，进一步提升处理效率和减少人为操作误差。同时，低能耗与高效处理技术的推广将继续受到关注，新型生物处理技术如生物膜反应器和厌氧生物处理技术的应用也将进一步深化。未来，污水生化处理工艺还将面临更高的技术挑战和环境压力，例如新兴污染物的处理和水资源的有效管理。因此，跨学科的合作与创新，如结合工程技术、

生物学和信息技术的发展，将成为推动污水处理技术不断进步的重要因素。本文将探讨不同阶段污水生化处理技术的特征、当前面临的挑战以及未来的发展趋势，旨在为未来污水处理工艺的优化和创新提供理论和实践的指导。

1 污水生化处理工艺发展阶段

1.1 初级阶段：传统活性污泥法

1.1.1 特征与应用

传统活性污泥法是污水生化处理工艺的初级阶段，其特征是利用曝气池中悬浮的活性污泥微生物，通过吸附、代谢和降解污水中的有机污染物，将其转化为无害的水、二氧化碳和新生物质（污泥）。该方法广泛应用于市政污水处理厂和工业废水处理系统，因其处理效果稳定、去除有机污染物效率高而受到重视和普及。传统活性污泥法具有操作简单、处理能力强等优点，能够有效处理大部分有机污染物，并在一定程度上去除氮磷等营养物质。然而，该工艺对温度、pH值和溶解氧等环境条件有较高要求，

容易出现污泥膨胀问题,导致沉降性能下降和处理效果变差。此外,污泥处理和处置成本较高,能耗较大,尤其是曝气设备的运行需要消耗大量能源。这些因素在一定程度上限制了传统活性污泥法的应用和推广,推动了更高效、更经济的污水生化处理技术的发展。

1.1.2 优缺点分析

传统活性污泥法作为污水生化处理工艺的初级阶段,具有显著的优点和缺点。其主要优点包括处理效果稳定、去除有机污染物效率高、适用范围广泛以及操作简单。这种方法通过利用活性污泥中的微生物,将污水中的有机污染物降解为无害的水、二氧化碳和新生物质(污泥),实现了污水的有效净化,广泛应用于市政污水处理厂和工业废水处理系统。然而,传统活性污泥法也存在一些明显的缺点,包括对环境条件(如温度、pH值和溶解氧)的要求较高,容易出现污泥膨胀问题,导致沉降性能下降^[1]。此外,污泥处理和处置成本较高,能耗较大,特别是曝气设备的运行需要消耗大量能源。

1.2 中级阶段:现代生物膜法

1.2.1 特征与应用

现代生物膜法是污水生化处理工艺的中级阶段,其特征在于利用附着在填料或载体上的微生物膜,通过吸附、代谢和降解污水中的有机污染物,将其转化为无害的水、二氧化碳和新生物质。与传统活性污泥法相比,生物膜法具有更高的处理效率和更好的抗冲击负荷能力,因其微生物浓度较高且不易流失。该方法广泛应用于市政污水处理和工业废水处理系统,特别适用于处理高浓度有机废水和难降解有机物。此外,生物膜法的操作管理相对简单,且污泥产量较低,减少了后续污泥处理的负担。然而,生物膜法也存在一些不足之处,如填料或载体的堵塞问题和生物膜脱落的风险,需定期进行维护和清理。

1.2.2 优缺点分析

现代生物膜法作为污水生化处理工艺的中级阶段,具有显著的优点和缺点。其主要优点包括处理效率高、抗冲击负荷能力强、微生物浓度较高且不易流失。由于微生物附着在填料或载体上形成生物膜,能够稳定地降解污水中的有机污染物,适用于处理高浓度有机废水和难降解有机物。此外,生物膜法的操作管理相对简单,污泥产量较低,减少了后续污泥处理的负担。这些优点使得生物膜法在市政污水处理和工业废水处理系统中得到了广泛应用。然而,生物膜法也存在一些缺点,如填料或载体容易发生堵塞,生物膜可能脱落,需要定期进行维护和清理。此外,初期投资成本较高,填料或载体的选择和更换成本也较高。尽管如此,现代生物膜法凭借其显著的处理效果和稳定性,仍然是污水处理领域的重要技术之一,为实现高效、稳定的污水处理提供了有力的支持。

1.3 高级阶段:复合生物处理法

1.3.1 特征与应用

复合生物处理法是污水生化处理工艺的高级阶段,其

特征在于综合利用多种生物处理技术,通过协同作用提高污水处理效率和稳定性。这一方法结合了活性污泥法和生物膜法的优势,通常采用悬浮生长与附着生长相结合的工艺,以实现有机污染物的高效降解。复合生物处理法可以更有效地去除污水中的有机物、氮、磷等污染物,具有较强的抗冲击负荷能力和处理效果稳定性。该方法广泛应用于市政污水处理厂和工业废水处理系统,特别适用于需要高标准出水要求的场合。此外,复合生物处理法能够适应较大范围的水质波动,减少单一工艺的缺陷,提高整体系统的运行效率。然而,该方法也存在一些挑战,如工艺设计和运行管理较为复杂,初期投资和维护成本较高。

1.3.2 优缺点分析

复合生物处理法作为污水生化处理工艺的高级阶段,具有显著的优点和缺点。其主要优点在于综合了活性污泥法和生物膜法的优势,通过悬浮生长与附着生长相结合的工艺,提高了污水处理的效率和稳定性。该方法能够更有效地去除有机物、氮、磷等污染物,适应较大范围的水质波动,具有较强的抗冲击负荷能力。同时,复合生物处理法在处理高浓度有机废水和难降解有机物方面表现出色,出水水质稳定,满足高标准排放要求。然而,复合生物处理法也存在一些缺点,如工艺设计和运行管理较为复杂,初期投资和维护成本较高,需要专业技术人员进行操作和维护^[2]。此外,系统的运行稳定性依赖于多个工艺单元的协同工作,一旦某个单元出现故障,可能影响整体处理效果。尽管存在这些挑战,复合生物处理法凭借其高效、稳定的处理能力和对环境条件的适应性,仍然是现代污水处理技术中备受关注的重要工艺,为实现更高效、更环保的污水处理提供了强有力的支持。

2 污水生化处理工艺未来趋势

2.1 智能化控制与自动化技术

未来污水生化处理工艺的发展趋势之一是智能化控制与自动化技术的广泛应用。随着科技进步和信息技术的发展,智能化控制系统将在污水处理领域发挥越来越重要的作用。这些系统通过集成传感器网络和实时数据监测技术,能够实现对污水处理过程的精准监测和实时调节。传感器可以监测污水的流量、质量、温度等关键参数,智能化控制系统则基于这些数据进行智能化决策,自动调整设备操作参数如曝气量、混合速率等,以优化处理效果和节约能源消耗。智能化控制与自动化技术的应用不仅提高了污水处理厂的运行效率和处理能力,还降低了人工操作成本和管理难度。自动化系统能够快速响应变化的处理需求,减少人为操作误差,提高处理过程的稳定性和一致性。此外,智能化控制系统还能够实现远程监控和远程操作,使得污水处理厂的运行管理更加灵活和便捷。未来的发展方向包括更加智能化和自主化的控制系统,例如利用人工智能技术进行预测性维护和优化决策,通过大数据分析和模型预测系统性能,进一步提高设备的运行效率和可靠性。

2.2 低能耗与高效处理技术

随着社会对环境保护和资源节约的重视,污水处理工艺正在逐步向能耗更低、处理效率更高的方向发展。在低能耗方面,新型的处理设备和技术不断涌现,如采用高效的曝气设备、优化曝气策略以减少能耗、利用能量回收技术等。这些技术能够有效地降低处理过程中的能耗,减少对能源资源的依赖,从而降低运营成本和环境影响。高效处理技术方面,包括采用先进的生物处理技术如生物膜反应器、活性炭吸附、高级氧化工艺等,这些技术能够更有效地去除污水中的有机物、氮、磷等污染物,达到更严格的排放标准要求。此外,结合智能化控制系统,优化处理流程和运行参数,进一步提高处理效率和资源利用率,实现对污水处理过程的精准监控和优化调节^[3]。未来的发展趋势还包括多工艺协同作业、资源循环利用等技术的应用。通过整合多种处理工艺,如生物和物理化学处理的结合,可以充分利用各工艺的优势,提高整体处理效率和水质净化效果。同时,推广水资源的循环利用和能源的回收利用,实现污水处理过程中的资源最大化利用,减少对环境的负面影响,促进可持续发展。

2.3 可持续发展与资源回收利用

污水生化处理工艺未来的发展趋势之一是可持续发展与资源回收利用的强化。随着全球资源稀缺和环境污染问题的加剧,污水处理不仅仅是去除污染物的过程,更成为资源回收和循环利用的重要手段。在可持续发展方面,未来的污水处理工艺将注重降低能耗、减少化学物质的使用、优化废物处理,以及最大限度地减少对环境的负面影响。资源回收利用方面,污水处理厂将成为能源和资源的重要生产基地。例如,通过厌氧消化过程产生的沼气可以被收集和利用作为能源来源;污泥中的有机物质可以通过厌氧消化、热解或生物气化技术转化为生物燃料或其他有价值的化学品;污水中的营养物质如氮、磷可以被回收用于农业肥料生产。这些技术不仅能够有效减少污水处理过程中的资源浪费,还能够降低处理成本,提升处理效率,并为其他工业和农业提供可持续的资源供给。此外,未来的污水处理工艺还将注重水质净化的综合效果,尽可能减少对水体的富营养化和微塑料等新兴污染物的排放。通过技术创新和政策支持,污水处理行业将逐步实现资源的最大化利用和循环利用,为社会经济发展和环境保护做出积极贡献。

2.4 新型生物处理技术探索

未来污水生化处理工艺的发展趋势之一是新型生物处理技术的探索与应用。随着科技的不断进步和环保需求的提升,污水处理领域正面临着越来越多的挑战和机遇。新型生物处理技术作为关键技术之一,具有广阔的发展前景和应用空间。一种重要的新型技术是生物膜反应器(MBR),它结合了传统的生物处理和膜分离技术,能够高

效地去除污水中的悬浮物和微生物,同时减少了处理过程中的空间需求和操作复杂性。MBR技术不仅可以提高水质的净化效果,还能够在占地面积有限的城市环境中得到有效应用,为污水处理厂的建设和升级提供了新的选择。此外,生物吸附和生物膜吸附技术也逐渐受到关注。这些技术利用特定的微生物或生物膜对污水中的有机物和重金属进行吸附和生物转化,有效地去除有害物质,同时降低了化学药剂的使用量,符合绿色环保的理念,有助于提升处理效率和降低运营成本。另一方面,厌氧生物处理技术如厌氧消化和厌氧氨氧化技术,通过无氧环境中微生物的代谢活动,能够高效降解有机物、去除氨氮,并产生有机肥料或沼气等有价值副产品^[4]。这些技术不仅在能源回收和资源利用方面具有潜力,还能够解决传统生物处理工艺中存在的一些技术瓶颈和问题。

3 结语

污水生化处理技术的发展经历了从传统到现代、从单一到复合的阶段化进程,这一过程中不断涌现出新的工艺、新的反应器以及新型微生物与生化代谢途径。这些技术的不断提升和应用,显著提高了污水处理的效率和质量,同时也在节能减排和资源回收利用方面取得了显著成就。未来,污水生化处理技术将继续朝着智能化、高效化和可持续发展的方向发展。智能化控制系统和自动化技术的广泛应用,将使污水处理过程更加精准和可控,进一步降低运营成本和人为操作误差。新型生物处理技术的探索和应用,如生物膜反应器和厌氧生物处理技术,将进一步提升处理效率和降解能力,为处理复杂污水和新兴污染物提供更为可靠的解决方案。然而,面对新兴污染物的挑战和环境保护的日益严峻压力,污水处理技术仍需不断创新和改进。跨学科的合作与科技创新将是未来发展的关键。通过共同努力,我们有望实现更加高效、环保和可持续的污水处理技术,为全球水资源管理和环境保护贡献更大力量。

[参考文献]

- [1]刘智晓,吴凡松.污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势[J].给水排水,2024,60(4):12-22.
 - [2]张二兴,魏国龙,王鹏亚.污水处理无组织废气治理的工艺路线选择及运行总结[J].氮肥与合成气,2023,51(12):16-17.
 - [3]郭清彬.城市污水生化处理工艺参数优化实验研究[J].当代化工,2023,52(8):1886-1889.
 - [4]沙海,赵艳,孟庆礼,等.基于高效生化工艺的城市污水点源深度处理关键技术[J].安装,2022(1):50-51.
- 作者简介:郝亚莉(1990.12—),女,目前职称:中级职称,学历:硕士研究生,所学专业:化学工程专业;苏鹏飞(1996.11—),男,学历:大学专科,所学专业:环境监测与治理专业。