

Research on the Present Situation and Development of Urban Sewage Treatment Technology

Jingjing Li

Shouguang Zhongye Water Service Co., Ltd., Shouguang, Shandong, 262700, China

Abstract

The advancement of urbanization and industrialization has led to a surge in urban wastewater discharge, making sewage treatment a critical measure for sustainable development. This paper reviews the evolution of urban wastewater treatment technologies, from simple processes like sedimentation and filtration to the traditional activated sludge method. It focuses on analyzing the principles, advantages, application scenarios, and existing challenges of activated sludge, biofilm, and membrane separation technologies, which are often combined in processes such as membrane bioreactors to enhance treatment efficiency. Additionally, the paper explores the potential of advanced oxidation technologies in degrading refractory biodegradable organic pollutants, highlighting that future urban wastewater treatment will develop toward higher efficiency, lower carbon emissions, resource utilization, and intelligent systems. This provides theoretical and practical references for technology selection, optimization, and innovation.

Keywords

Urban wastewater treatment; Activated sludge process; Membrane separation technology; Advanced oxidation technology;

城市污水处理技术现状及发展研究

李京京

寿光市中冶水务有限公司, 中国·山东 寿光 262700

摘要

城市化与工业化推进使城市污水排放量攀升, 污水处理成为可持续发展的关键举措。本文梳理了城市污水处理技术从沉淀、过滤等简单工艺到传统活性污泥法的发展历程, 重点分析了活性污泥法、生物膜法、膜分离技术的原理、优势、应用场景及现存问题, 这些技术常以膜生物反应器等组合工艺形式提升处理效能。同时, 本文探讨了高级氧化技术在降解难生物降解有机污染物方面的潜力, 指出未来城市污水处理将朝着高效化、低碳化、资源化与智慧化方向发展, 为技术选择、优化与创新提供理论和实践参考。

关键词

城市污水处理; 活性污泥法; 膜分离技术; 高级氧化技术;

1 城市污水处理的背景与意义

随着城市化进程的加速, 城市人口数量急剧增长, 工业活动日益频繁, 导致城市污水排放量显著增加。这种现象对环境、居民健康以及城市的可持续发展均造成了深远的负面影响。未经处理或处理不当的城市污水直接排放到自然水体中, 会导致水体富营养化、重金属污染以及有毒有害物质积累, 从而破坏水生生态系统平衡^[1]。此外, 污水中的病原微生物可能通过饮用水或食物链传播, 威胁居民健康, 引发各种疾病。从城市可持续发展的角度来看, 水资源短缺问题因污水排放而加剧, 制约了经济社会的长期发展。因此, 加强城市污水处理已成为当前亟待解决的重要课题, 其紧迫性

不容忽视。

2 城市污水处理技术发展历程

2.1 早期简单处理技术

早期的城市污水处理技术主要以沉淀和过滤等物理方法为主, 这些技术通过去除污水中的悬浮颗粒和部分有机物来改善水质。沉淀技术利用重力作用使污水中的固体颗粒沉降到底部, 从而实现固液分离; 过滤技术则通过多孔介质(如砂滤层)截留污水中的悬浮物。这些技术广泛应用于早期城市的排水系统中, 尤其是在工业革命后期, 随着城市化进程的加快, 人口密集区域的生活污水和工业废水排放量急剧增加, 简单的污水处理技术成为应对水污染问题的重要手段。然而, 这些技术的局限性也显而易见: 它们仅能去除污水中的部分悬浮物, 对溶解性污染物和微生物的去除效果有限, 且处理后的水质难以满足日益严格的环保要求。尽管如此,

【作者简介】李京京(1984—), 女, 硕士, 工程师, 从事环境工程研究。

早期简单处理技术在当时发挥了重要作用，为后续污水处理技术的发展奠定了基础。

2.2 传统污水处理技术发展

从早期简单处理技术到现代复杂工艺的过渡中，传统污水处理技术经历了显著的发展与改进^[1]。活性污泥法作为最具代表性的传统污水处理技术之一，于20世纪初被提出并逐步完善。其基本原理是利用悬浮生长的微生物群体分解污水中的有机物质，通过曝气提供氧气以促进微生物的代谢活动，从而实现污染物的去除。然而，随着城市化规模的扩大和污水排放量的增加，传统活性污泥法也暴露出一些不足，例如能耗较高、占地面积大以及对氮磷等营养物质的去除效果有限。为应对这些问题，研究者们不断优化工艺流程，开发出诸如A/O工艺、SBR工艺等改进型技术，这些技术在提升处理效率的同时，也增强了系统对复杂污染物组成的适应性。总体而言，传统污水处理技术的发展历程体现了人类对水污染问题认识的深化以及技术手段的逐步完善。

3 主流城市污水处理技术剖析

3.1 活性污泥法

活性污泥法是一种基于微生物群体代谢作用的污水处理技术，其核心原理是利用悬浮生长的微生物群体分解污水中的有机物质。在活性污泥系统中，污水与回流污泥混合后进入曝气池，在充分供氧的条件下，微生物通过摄取污水中的有机物进行新陈代谢活动，将有机物转化为二氧化碳、水以及自身的细胞物质。这一过程主要包括两个阶段：第一阶段是有机物的吸附和氧化分解，第二阶段是微生物的合成与增殖。活性污泥法的关键在于维持曝气池中适当的微生物浓度和良好的混合条件，以确保高效的有机物去除效果。

3.2 生物膜法

生物膜法是一种利用附着在载体表面的微生物群体降解污水中污染物的处理技术。其基本原理是，微生物在载体表面形成一层生物膜，污水流经生物膜时，其中的有机物被生物膜中的微生物吸附、分解和转化，最终生成二氧化碳、水及其他无机物。与活性污泥法不同，生物膜法中的微生物以固着状态存在，这使得生物膜能够承受较高的冲击负荷并保持稳定的处理效果。此外，生物膜内部存在好氧区、缺氧区和厌氧区，这种分层结构有利于同步实现有机物降解、脱氮和除磷等功能。

3.3 膜分离技术

膜分离技术是一种基于膜的选择透过性实现污染物分离的先进污水处理技术^[1]。其基本原理是利用特定孔径和化学性质的膜材料，通过物理筛分或化学吸附作用，将污水中的悬浮物、胶体物质、溶解性有机物和无机盐等污染物分离出来，从而实现水质净化的目的。根据膜孔径大小的不同，膜分离技术可分为微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和反渗透(RO)等多种类型。

4 新兴城市污水处理技术探索

4.1 高级氧化技术

4.1.1 高级氧化技术原理

高级氧化技术(Advanced Oxidation Processes, AOPs)是一种通过产生高活性的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)来氧化降解污水中难降解有机污染物的高效处理技术。其核心机制在于利用化学反应生成强氧化性的羟基自由基，这些自由基能够无选择性地攻击有机物分子，将其分解为二氧化碳和水等无害物质。常见的AOPs包括臭氧氧化、过氧化氢催化氧化以及光催化氧化等。例如，臭氧氧化技术通过臭氧分子在水中的分解产生羟基自由基，而光催化氧化则利用紫外光激发催化剂表面生成自由基。此外，芬顿试剂($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$)也是典型的高级氧化技术之一，其通过亚铁离子与过氧化氢反应生成羟基自由基，从而实现高效氧化。

4.1.2 高级氧化技术优势

高级氧化技术在处理难降解污染物方面具有显著优势，其反应速度快、适用范围广且对多种有机污染物均有良好的去除效果。由于羟基自由基的标准电极电位高达2.8V，远高于普通氧化剂，因此其氧化能力极强，能够有效分解传统生物处理方法难以去除的有机化合物，如苯环类化合物、多环芳烃等。然而，尽管高级氧化技术表现出优异的性能，其运行成本较高的问题仍需引起重视。

4.2 人工湿地技术

4.2.1 人工湿地技术原理

人工湿地技术是一种模拟自然湿地生态系统的污水处理方法，通过植物、微生物和基质的共同作用实现对污水中污染物的有效去除。在该技术中，植物根系为微生物提供了附着表面和氧气输送通道，同时通过光合作用释放氧气，促进好氧微生物的活性；微生物则负责降解污水中的有机污染物和氮磷等营养物质；基质则起到过滤和吸附的作用，进一步去除悬浮物和重金属离子。

4.2.2 人工湿地技术优势

人工湿地技术在生态友好性和运行成本方面具有显著优势。人工湿地能够美化环境，为动植物提供栖息地，具有一定的生态价值。此外，其建设成本相对较低，特别是在土地资源丰富的地区，可以大幅降低初期投资。然而，人工湿地技术也存在一定的局限性，例如占地面积较大、处理效率受气候条件影响明显等。

5 城市污水处理技术面临的挑战与解决策略

5.1 处理成本高

城市污水处理成本居高不下，主要源于能耗大、药剂费用高以及设备维护成本高等多方面因素。在污水处理过程中，曝气系统、污水提升泵等高能耗设备的运行消耗了大量电力资源，导致处理成本显著增加。此外，化学药剂的投入也是成本的重要组成部分，尤其是在深度处理阶段，用于除

磷脱氮的药剂费用占据了较大比例。与此同时，污水处理设备的复杂性和长期运行对设备维护提出了较高要求，频繁的检修和更换零部件进一步推高了整体成本。因此，如何有效降低这些关键环节的成本，成为提升污水处理经济性的核心问题。

5.1.2 降低成本策略

为应对城市污水处理成本高的问题，可从优化工艺流程、采用节能设备以及资源回收利用等方面入手。例如，采用生物接触氧化工艺结合底层疏浚技术，不仅可以提高处理效率，还能有效降低运行成本。其次，引入高效节能设备，如智能曝气系统和变频污水提升泵，能够在保证处理效果的同时减少能源消耗。此外，资源回收利用也是降低成本的重要途径，通过对污泥中有机物质的资源化利用，如生产沼气或肥料，可实现经济效益与环境效益的双赢。

5.2 污泥处置难

5.2.1 污泥处置难题

污泥处置是城市污水处理中的一大难题，其主要表现为污泥产量大、成分复杂以及处理不当易造成二次污染等问题。随着污水处理规模的扩大，污泥产量逐年增加，传统的填埋和焚烧处理方式已难以满足实际需求。此外，污泥中含有重金属、病原微生物等有害物质，若处理不当，可能对土壤、水源和空气造成严重污染。因此，如何妥善处置污泥并实现其资源化利用，成为亟待解决的关键问题。

5.2.2 污泥处置策略

针对污泥处置难题，可采取污泥减量化、稳定化和资源化利用等策略。污泥减量化通过优化污水处理工艺，减少污泥产生量，从而降低后续处置压力。例如，采用膜分离技术替代传统沉淀工艺，能够显著减少污泥产量。污泥稳定化则通过生物发酵或化学固化等手段，使污泥中的有害物质得到固定，避免对环境造成二次污染。此外，污泥资源化利用是解决污泥问题的根本途径，可通过将污泥转化为建筑材料、肥料或能源等高附加值产品，实现经济效益与环境效益

的统一。

5.3 二次污染风险

5.3.1 二次污染风险来源

城市污水处理过程中存在多种二次污染风险，其主要来源包括消毒剂残留、有害气体排放以及处理不当导致的环境污染。在深度处理阶段，消毒剂的使用虽然能够有效杀灭病原微生物，但过量残留可能对受纳水体造成生态危害。此外，污水处理过程中产生的甲烷、硫化氢等有害气体，若未妥善处理，可能对周边环境和居民健康构成威胁。因此，如何有效控制这些二次污染风险，成为保障污水处理环境友好性的重要课题。

6 结语

再生水利用是城市污水资源化利用的另一重要方向。通过对污水进行深度处理，可以获得符合特定用途水质标准的再生水，用于工业用水、农业灌溉、城市绿化等领域。例如，膜分离技术结合高级氧化工艺可以实现对污水中微量污染物的有效去除，从而生产出高质量的再生水。许多国家和地区已出台相关政策，鼓励企业和公众使用再生水以缓解水资源短缺问题。例如，以色列通过完善的法规体系和激励机制，实现了高达90%的污水再生利用率，成为全球再生水利用的典范。未来，随着公众环保意识的提升和技术的进一步发展，城市污水资源化利用将在更大范围内得到推广，为水资源的可持续利用提供重要保障。

参考文献

- [1] 张吉若,王磊.城市水资源污染治理与环境保护刍议[A].京津冀生态环境科技产业金融协同发展大会论文集[C].河北省环境科学学会、北京环境科学学会、天津市环境科学学会:2024:205-209.
- [2] 徐彦飞.城市污水处理厂的大气污染治理技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(22):101-103.
- [3] 高秋凤.工业企业废水排放对城市污水处理厂运行影响的研究[D].导师:吴军;王金辉.扬州大学,2023.