

浅析环境工程中的微生物处理技术

杨常青 冉祥明

河北先进环保产业创新中心有限公司, 中国·河北 石家庄 050035

摘要: 论文探讨环境工程中微生物处理技术的应用与发展, 阐述其原理、类型及优势, 并指出其面临的挑战。作为绿色高效的污染控制方法, 微生物处理在废水、土壤及废弃物管理中作用显著。论文综合研究成果, 分析该技术应用潜力, 并展望未来研究方向, 旨在推动微生物处理技术在环境工程领域的深入应用与持续发展。

关键词: 环境工程; 微生物处理技术; 技术原理

Analysis of Microbial Treatment Technology in Environmental Engineering

Changqing Yang Xiangming Ran

Hebei Advanced Environmental Protection Industry Innovation Center Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050035, China

Abstract: This paper explores the application and development of microbial treatment technology in environmental engineering, elaborates on its principles, types, and advantages, and points out the challenges it faces. As a green and efficient pollution control method, microbial treatment plays a significant role in wastewater, soil, and waste management. The paper synthesizes research results, analyzes the practical potential of this technology, and looks forward to future research directions, aiming to promote the in-depth application and sustainable development of microbial treatment technology in the field of environmental engineering.

Keywords: environmental engineering; microbial treatment technology; technical principles

0 前言

随着工业化与城市化进程的加速, 环境污染问题日趋严峻, 对人类健康及生态系统稳定构成重大威胁。传统物理化学处理方法虽能去除部分污染物, 却常伴随高昂成本及二次污染问题。相较之下, 微生物处理技术凭借其自然生物过程的高效性、经济性与环保特性, 日益受到广泛关注。该技术利用微生物的代谢活动降解污染物, 不仅成本较低, 且能避免二次污染, 为环境污染治理提供了新途径, 展现了广阔的应用前景。

1 微生物处理技术的基本原理

微生物处理技术的核心在于利用特定微生物或其群落, 通过代谢活动降解并转化有害物质为无害或低毒性化合物。此过程不仅包含化学反应, 还涉及复杂的生态交互。在有机物矿化中, 微生物将复杂有机分子, 如碳水化合物, 逐步分解为二氧化碳和水, 此过程需多种酶促反应参与, 并伴随能量释放, 供微生物生长繁殖。

氮素循环中, 硝化与反硝化作用至关重要。硝化作用由氨氧化细菌(AOB)与亚硝酸盐氧化细菌(NO₂)共同完成, 将氨转化为硝酸盐; 而反硝化作用则由另一类微生物在缺氧条件下执行, 利用硝酸盐作为电子受体, 将其还原为氮气, 实现脱氮。磷元素动态变化亦不容忽视。微生物能选择性吸收环境介质中的可溶性磷酸盐, 并在细胞内储存, 随后再释放, 此机制有效调节环境中磷浓度, 维持生态平衡。

此外, 部分微生物能合成胞外聚合物, 这些物质能固定重金属离子, 降低其生物有效性, 减轻潜在毒性, 进一步展现了微生物处理技术在环境保护中的重要作用。

2 微生物处理技术在环境工程中的应用优势

微生物处理技术在环境工程中以其环境友好性和成本效益显著著称。该技术利用自然微生物群落降解与转化污染物, 避免了化学药剂的介入, 从根本上杜绝了二次污染的产生, 有利于维护生态平衡及生物多样性保护, 确保了对周边环境的无害影响。

经济层面, 微生物处理技术展现出明显优势。相较于传统的物理或化学方法, 其操作更为简捷, 无需复杂设备与高额技术支持, 有效降低了建设与运行成本。同时, 多数微生物能在常温常压下高效工作, 显著减少了能源消耗, 进一步削减了运营成本。尤为值得一提的是, 部分微生物处理过程如厌氧消化, 还能实现资源回收, 如产生沼气作为能源补充, 提升了资源利用效率。

此外, 微生物处理技术以其高度的多功能性和适应性脱颖而出。该技术不仅能针对单一污染物如有机物、重金属或氮磷等进行有效处理, 更能应对复杂的复合污染状况。不同微生物凭借其独特的代谢路径, 在特定条件下协同作用, 为解决多样化环境污染问题提供了有力支持。随着研究的深入与技术的进步, 新型高效微生物菌株的不断涌现, 进一步拓宽了微生物处理技术的应用领域, 显著提升了其处理效果。

与实用性。

3 环境工程中主要的微生物处理技术

3.1 废水处理

3.1.1 活性污泥法：污水处理的生物智慧

活性污泥法，作为污水处理厂中的核心生物处理工艺，其精髓在于利用好氧微生物的代谢活力，实现废水中有机污染物的有效去除。此过程始于废水被引入曝气池，通过高效的鼓风或机械搅拌机制，水体中的氧气含量得到显著提升。这一富氧环境促进了好氧细菌的迅速繁殖，它们以废水中的悬浮有机物为食，逐渐聚集形成具有强大吸附与分解能力的“活性污泥”。这些絮状污泥不仅能够有效捕捉并分解可溶性和颗粒状有机物，还通过微生物间的协同作用，实现了对污水中复杂有机污染物的深度净化。

为确保活性污泥法的持续高效运行，必须精细调控操作条件，包括维持适宜的 pH 值、温度以及营养比例（特别是碳、氮、磷的平衡），这些都是维持微生物生态系统健康的关键。同时，定期排放部分老化的活性污泥，即剩余污泥，对于防止污泥过量积累、保持处理效率至关重要。经过一系列生物化学反应后，处理后的废水进入二次沉淀池，其中大部分活性污泥沉降并被回收至曝气池循环利用，而清澈的上清液则作为处理后的出水，根据需要进行排放或进一步深度处理。

3.1.2 厌氧消化：废物转化为能源的绿色途径

厌氧消化技术，特别适用于处理高浓度有机废水，如农业废弃物、食品加工废液等，展现出了其独特的环保与经济价值。这一技术在一个密闭、无氧的环境中展开，通过一系列由不同厌氧微生物主导的生化反应，逐步将复杂的有机物分解为更简单的化合物。水解菌群首先将大分子有机物如蛋白质、脂肪和多糖水解为单体，随后酸化菌进一步将这些单体转化为挥发性脂肪酸等中间产物。产氢产乙酸菌和甲烷菌则接力完成最终的转化，将中间产物转化为氢气、二氧化碳和甲烷，实现了废物到能源的转化。

厌氧消化过程中产生的甲烷气体，作为一种清洁能源，不仅减少了对化石燃料的依赖，还有效降低了温室气体排放。然而，这一过程对环境参数的严格控制至关重要，包括温度（中温或高温模式）、pH 值以及有机负荷率等，以确保微生物活动的最佳状态。

3.1.3 膜生物反应器（MBR）：高效污水处理的创新技术

膜生物反应器（MBR）技术，通过将膜分离技术与传统生物处理相结合，为污水处理领域带来了革命性的突破。MBR 系统由生物反应区和膜过滤区两大部分构成。在生物反应区内，微生物通过附着在填料表面或悬浮状态，对有机物进行降解；而膜过滤区则利用微滤或超滤膜组件，精确截留固体悬浮物和大分子有机物，确保出水的高清澈度。

MBR 技术的成功应用，关键在于膜材料的选择与结构设计，以及有效的防污染策略。平板膜、中空纤维膜和管式膜等不同类型的膜材料，各有其独特的应用优势和技术特点。为防止膜污染，MBR 系统通常配备有先进的自动清洗装置，如反冲洗、空气擦洗或化学清洗等，以确保系统的长期稳定运行。此外，MBR 技术还易于与其他高级氧化工艺相结合，进一步提升出水水质，满足更为严格的排放标准或回用水质要求，展现了其在污水处理领域的广阔应用前景（见图 1）。

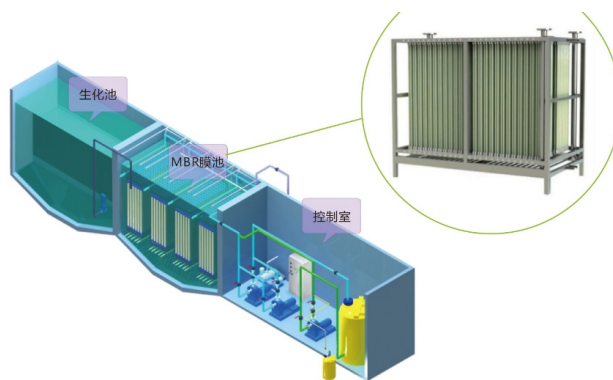


图 1 膜生物反应器示意图

3.2 土壤修复

3.2.1 植物-微生物联合修复：土壤净化的创新策略

植物-微生物联合修复技术，作为环境工程领域的一项创新，巧妙地融合了植物与特定功能微生物的协同效应，旨在加速土壤中污染物的降解过程。该技术实施的首要步骤是对受污染土壤进行全面分析，明确其物理化学特性、污染类型及程度，进而精选适宜的植物种类。这些植物通过其根系分泌物，能够有针对性地促进土壤中特定微生物群落的发展，形成高效的污染降解体系。

在植物的选择上，采用混播与多层种植策略，以确保不同植物间的互补性，优化根系分布，覆盖更广泛的土壤层次。深根植物与浅根植物的搭配使用，能够实现土壤深层的全面修复。同时，引入伴生植物，不仅改善土壤结构，还通过释放特定化合物，进一步增强目标微生物的活性与降解效率。

为提升修复效果，研究人员还探索了一系列辅助措施，如种子生物强化处理，即在播种前接种高效降解菌株或真菌孢子，确保微生物在植物生长初期即能迅速定植并发挥作用。同时，运用高通量测序等分子生物学技术，动态监测土壤微生物群落的变化，及时调整修复策略，确保修复工作的科学性与精准性。

3.2.2 原位生物修复：直接干预的高效途径

原位生物修复技术，针对大面积、难以挖掘的污染场地，提供了一种直接且高效的解决方案。该技术的核心在于准确识别污染源，制定详尽的修复计划，并依据实际情况选择适宜的修复技术与材料。通过添加营养物质或接种驯化后

的高效降解菌株，加速污染物的自然衰减过程。营养物质的补充需精准匹配土壤条件与目标污染物，常见的氮源、磷源及微量元素，以缓释肥料或控释胶囊形式投加，确保长期稳定的供应。同时，从污染现场筛选并驯化高效降解菌株，通过实验室培养与基因工程改造，提升其适应性及降解效率。利用活性炭、蛭石等载体材料，提高菌株在土壤中的存活率与扩散能力。修复过程中，实时监控与数据分析至关重要。借助先进的传感器网络与数据分析平台，连续监测土壤污染状况、微生物群落变化及环境参数，为修复策略的调整提供科学依据。

3.3 废弃物管理

3.3.1 堆肥化技术：有机废弃物转化为资源的艺术

堆肥化作为一种古老而有效的有机废弃物处理技术，其核心在于通过微生物的代谢活动，将各类有机废弃物转化为稳定且富含养分的腐殖质状物质。这一过程不仅减少了废弃物的体积，还将其转化为对土壤有益的肥料，实现了资源的循环利用。要实施成功的堆肥化，需精心策划并严格控制一系列关键步骤。原料选择与配比是堆肥化的起点。理想的堆肥原料应包含丰富的碳源和氮源，如厨余垃圾、园林废弃物、动物粪便等。这些原料的碳氮比（C：N）需合理调整，通常建议维持在 25：1~30：1，以确保微生物的均衡生长与高效分解。过高或过低的 C：N 比均可能影响堆肥过程，导致分解速度减慢或氮素损失。

堆体构建与管理是确保堆肥化顺利进行的关键。堆肥堆应设计为具有良好的通风和排水性能，以避免厌氧环境的形成。分层堆积法被广泛采用，每层之间需适量加水，保持堆体湿度在 50% 至 60% 之间，为微生物提供适宜的生活环境。定期翻动或搅拌堆体，不仅可以促进氧气的均匀分布，还能有效防止堆体内部过热和结块，确保堆肥过程的均匀

进行。

温度与通气控制在堆肥化过程中至关重要。初期，堆温的逐渐上升（通常至 55℃ ~65℃）有助于加速好氧微生物的繁殖，同时抑制病原菌和杂草种子的存活。随着堆肥的进行，温度会逐渐下降，标志着堆肥进入稳定阶段。此时，需通过调整通气量和翻动频率，维持适宜的堆温，促进腐殖质的形成。

3.3.2 生物气化技术：从废弃物中提炼清洁能源

生物气化作为一种专注于能源回收的厌氧处理技术，旨在将生物质中的有机成分转化为可燃气体，如甲烷和氢气。这一技术适用于多种生物质资源，为废弃物的能源化利用提供了新途径。原料预处理是生物气化过程的第一步。通过粉碎、破碎或水解等处理，增加原料的表面积，促进微生物的有效接触和分解。处理后的原料被送入密闭的反应器内，在无氧条件下启动发酵过程。

反应器设计与运行是生物气化技术的核心。反应器须具备高效的混合系统、稳定的加热机制以及完善的气体收集装置。机械搅拌或气体循环被用于实现原料的均匀混合，而电加热或热交换器则用于维持反应器的恒定温度（通常控制在 35℃ ~55℃）。通过精心设计的管道系统，产生的沼气被有效收集并储存，为后续的能量利用提供基础。为了提高生物气化的效率，微生物筛选与驯化、催化剂与添加剂的研发以及工艺参数的优化成为研究热点。通过筛选和驯化高产气、适应性强的微生物菌株，可以显著提升系统的代谢能力和稳定性。同时，新型催化剂和添加剂（如纳米材料、酶制剂）的开发，有助于加速底物的转化速率，提高产气效率。此外，对进料浓度、pH 值、停留时间等工艺参数的精细调整，也是实现最佳产气效果的关键（见图 2）。

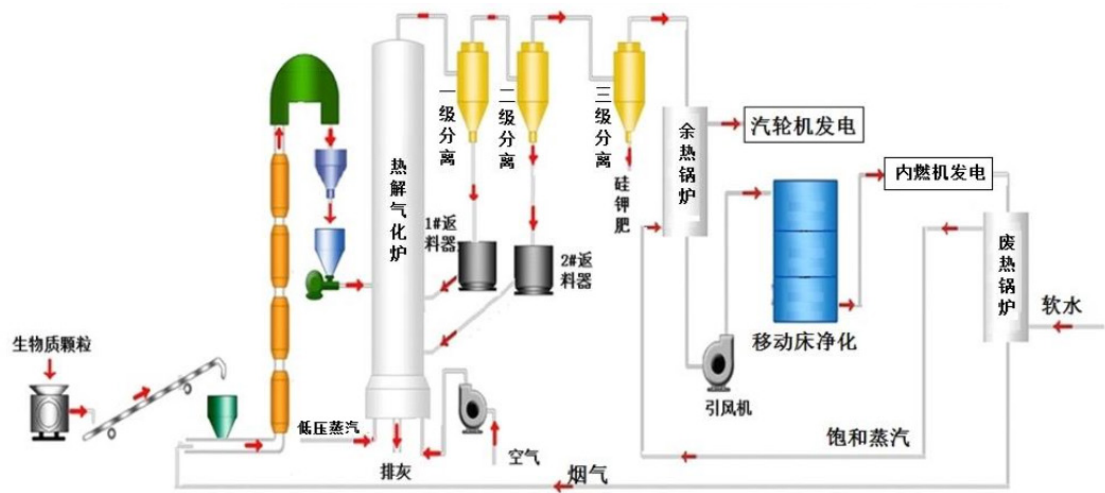


图 2 生物气化技术示意图

4 结语

总之，微生物处理技术在应对环境挑战中展现出显著潜力，其独特优势不容忽视。为最大化这一技术的效能，科研人员需持续探索创新思路与技术方案，不断深化研究与实践。通过共同努力，能构建一个更加清洁、美丽的世界，实现环境保护与可持续发展的双赢目标。

参考文献：

[1] 盛丽丽.固定化微生物技术在环境工程中的应用研究进展[J].风景名胜,2020(11):250.
[2] 郝会谦.微生物处理技术在环境工程中的运用与实践分析[J].中小企业管理与科技,2021(30):194-196.
[3] 邵永计.微生物处理技术在环境工程中的运用探讨[J].产业与科

技论坛,2022(14):36-37.

[4] 唐友刚.固定化微生物技术在环境工程中的应用探讨[J].文摘版:工程技术,2022(1):155-158.
[5] 谭正尧,肖妮,李天琦,等.水处理中微生物固定化技术的研究进展[J].当代化工研究,2022(19):97-99.
[6] 侯连刚,李军,陈光辉,等.微生物菌体包埋固定化技术在废水处理中的应用[J].水处理技术,2019(1):1-5.
[7] 张杰,吴嵘.固定化微生物技术在环境工程中的应用探究[J].全文版:自然科学,2021(1):245-246.

作者简介: 杨常青(1984-), 男, 中国河北保定人, 本科, 中级工程师, 从事环保工程治理、环保技术咨询研究。