

化工行业废水厌氧处理技术节能效果与经济效益评估分析

杨敏捷 (南京工大环境科技有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 以某工程项目为例, 分析了化工废水厌氧+好氧 MBR 处理工艺的节能效果与经济效益。该工艺通过引入厌氧反应器, 在低氧环境下降解有机物, 大幅减少了后续好氧池的处理负担, 显著降低了能耗。厌氧+好氧 MBR 工艺的吨水能耗为 3.64kWh/m³, 较传统好氧 MBR 工艺节能 50% 以上。结合沼气回收利用, 吨水处理费用降至 0.291 元/m³, 经济性得到很大的提升。

关键词: 化工废水; 厌氧处理; 节能效果; 经济效益

Abstract: Taking a certain engineering project as an example, the energy-saving effect and economic benefits of anaerobic+aerobic MBR treatment process for chemical wastewater were analyzed. This process introduces anaerobic reactors to degrade organic matter in low oxygen environments, significantly reducing the treatment burden on subsequent aerobic tanks and significantly reducing energy consumption. The energy consumption per ton of water in the anaerobic+aerobic MBR process is 3.64 kWh/m³, which is more than 50% energy-saving compared to the traditional aerobic MBR process. Combined with biogas recycling and utilization, the cost of treating one ton of water has been reduced to 0.291 yuan/m³, greatly improving the economy.

Keywords: chemical wastewater; Anaerobic treatment; Energy saving effect; economic performance

1 工程概况

1.1 好氧 MBR 工艺流程

好氧膜生物反应器 (MBR) 工艺是一种将传统好氧活性污泥法与膜分离技术相结合的先进废水处理方案, 广泛应用于废水的深度处理。该工艺的核心特点在于利用膜分离技术实现微生物与水流的高效分离, 从而有效去除水中的污染物。在具体处理过程中, 废水首先通过调节池进行水质和流量的均衡调节, 随后进入生物反应池。在好氧环境下, 微生物对废水中的有机物进行降解, 并通过曝气设备提供足够的溶解氧, 以加速生物降解过程。随着反应的进行, 水中的有机物被降解并转化为可分解的小分子物质。

经过好氧池处理后的废水流入膜池, 在这里, 膜分离技术发挥重要作用。通过微滤膜或超滤膜, 膜池有效地将废水中的固体颗粒和悬浮物, 包括剩余的污泥, 与水分离, 得到清洁的出水。膜的孔径和过滤精度使得水中细小的颗粒也能被彻底去除, 确保出水水质达到排放标准。膜池的操作通常为封闭式, 防止外界污染物进入。为了维持适当的污泥浓度, 膜池中的污泥通过回流泵送回好氧池, 避免过多污泥的积累和能效损失。而多余的污泥则被通过旁通管道送至污泥处理设施, 完成后续处理。

1.2 厌氧+好氧 MBR 工艺流程

厌氧+好氧 MBR 工艺在传统好氧处理工艺的基

础上, 引入了厌氧反应器, 形成了一个两阶段联用的废水处理系统 (流程见图 1)。废水首先进入调节池进行均质化和 pH、温度的调节, 确保流量和水质的稳定。调节后的水流入厌氧反应器, 在缺氧环境下通过厌氧微生物的作用分解水中的大部分有机物。厌氧反应器通常分为三个区域: 底部的布水区、中部的污泥床区和顶部的气体分离区。在此过程中, 厌氧微生物将有机物降解为甲烷和二氧化碳等气体, 显著减少了废水中的有机负荷, 并产生的沼气可以进行回收利用, 为系统提供能源, 增加了工艺的节能性。

处理后的水进入好氧池, 继续在好氧环境下通过好氧微生物的作用降解剩余的有机物。好氧池提供充足的溶解氧, 确保污水中的有机污染物进一步被分解。在这一阶段, 水流经膜池, 通过膜分离技术去除水中的固体物质和悬浮物, 确保水质达到排放标准。该工艺的优势在于, 厌氧阶段的低能耗特性有效降低了整体能耗, 而好氧阶段则通过 MBR 膜技术的高效分离性能, 实现高 COD 去除率和水质净化。

1.3 项目设备与参数设置

本项目采用了适用于化工废水处理的高效设备, 确保了废水处理过程的高效性与稳定性。好氧 MBR 和厌氧+好氧 MBR 工艺的核心设备包括调节池、厌氧反应器、好氧池、膜池和污泥回流系统。调节池通过精确调节废水的流量和水质, 确保废水的均匀性和

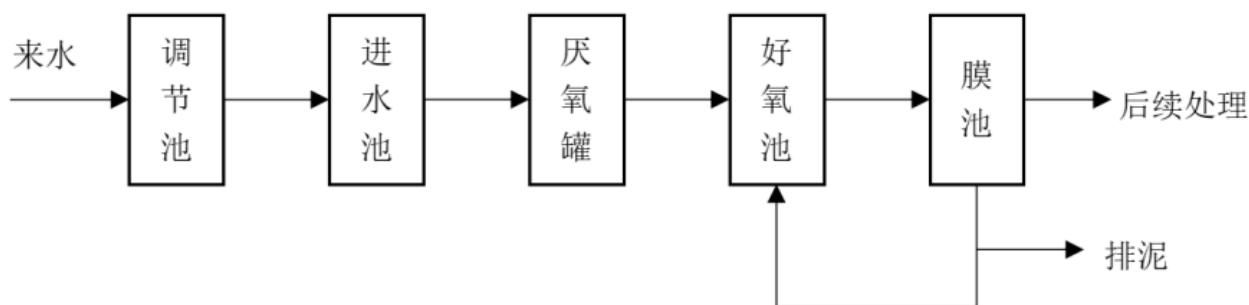


图1 厌氧+好氧MBR工艺流程

稳定性。进水池内的温度和 pH 调节设备通过自动化控制，精确调节废水的处理条件。厌氧反应器采用均匀分布的布水系统，确保废水在反应器内均匀流动，避免出现死区，从而提高有机物的降解效率。在好氧池中，曝气系统持续供氧，维持微生物活性，优化降解过程。膜池采用高效微滤膜或超滤膜，通过膜分离技术去除水中的固体物质，确保水质达到排放标准。

系统的操作参数经过优化设计，以确保处理效果的稳定性。调节池中的水温通常保持在 30–40℃ 之间，pH 值在 7–8 范围内。好氧池的溶解氧浓度控制在 2–3 mg/L，污泥浓度保持在 7000–8000 mg/L。厌氧反应器的运行温度控制在 35–38℃，pH 值维持在 6.8–7.2 之间，为厌氧微生物提供最佳生长条件。

2 数据分析与结果

2.1 好氧 MBR 工艺运行数据分析

在好氧 MBR 工艺运行期间，废水的水质和操作条件对处理效果有着直接影响。根据监测数据，废水的 pH 值维持在 7–8 之间，温度保持在 34–38℃，这些条件为微生物提供了理想的生长环境。在好氧池中，溶解氧浓度保持在 2–3 mg/L，以支持微生物的有机物降解。进水量平均为 9.0 m³/h，COD 总量波动范围为 580–1379 kg/d，平均值为 945 kg/d。污泥浓度维持在 7000–8000 mg/L 之间，保证了微生物活性的稳定。

经过好氧池处理后，水中的 COD 浓度显著降低。进水的 COD 浓度在 2634–6877 mg/L 之间，经过处理后，膜池出水的 COD 浓度降至 69.3–153.3 mg/L，平均为 84.5 mg/L。COD 去除率达到 98.02%，表明该工艺对有机物的去除效果非常良好。膜池有效地去除了水中的悬浮物，确保了出水水质符合排放标准。整体来看，系统能够在处理化工废水时稳定维持高效的去除效率。

在能耗方面，该工艺的吨水运行能耗为 7.33 kWh/m³，表明即使处理高浓度废水，能效仍然保持在较为

稳定的水平。

2.2 厌氧+好氧 MBR 工艺运行数据分析

厌氧+好氧 MBR 工艺在处理复杂废水时展现出了显著的节能优势和高效的处理能力。废水首先进入厌氧反应器，在低氧环境下，大部分有机物被厌氧微生物降解。该阶段的 COD 平均去除率为 95.16%，废水中的 COD 浓度从 52–75 mg/L 降低，显著减少了后续好氧池的处理负荷。厌氧反应器产生的沼气可以回收利用，为系统提供部分能量，从而有效降低了整体能耗。

废水进入好氧池后，继续进行有氧降解。好氧池的溶解氧浓度保持在 23 mg/L，污泥浓度维持在 5000–5500 mg/L，确保了良好的微生物活性。经过好氧池处理后，出水 COD 浓度降至 27.3–94.3 mg/L，平均为 56.6 mg/L，COD 去除率为 74.82%。结合厌氧阶段的去除效果，整个系统的 COD 去除率达到了 98.93%。这一结果表明，厌氧与好氧工艺的联合应用，大幅提高了废水的降解效率。

在能耗方面，厌氧+好氧 MBR 工艺的吨水运行能耗为 3.64 kWh/m³，较单独好氧 MBR 工艺降低了 50.34%。

3 节能效果评估

3.1 运行能耗分析

在厌氧+好氧 MBR 工艺的运行过程中，系统的能耗显著低于传统好氧处理工艺。该工艺的吨水能耗为 3.64 kWh/m³，相较于单独好氧 MBR 工艺的 7.33 kWh/m³，节能效果达到了 50% 以上。这一节能优势主要得益于厌氧阶段的引入。在厌氧反应器中，废水在低氧环境下得到处理，大部分有机物在此阶段即已被降解，减少了好氧池的负担和氧气需求，从而显著降低了对曝气系统的依赖。

3.2 与好氧 MBR 工艺的比较

与传统好氧 MBR 工艺相比，厌氧+好氧 MBR 工

艺展现了显著的节能优势。好氧 MBR 工艺的吨水能耗为 7.33 kWh/m³，而厌氧 + 好氧 MBR 工艺的吨水能耗降至 3.64 kWh/m³，节能幅度达到 50.34%。这种节能差异主要来源于厌氧阶段的低能耗特性。在厌氧反应器中，大部分有机物在无需氧气的环境下被有效降解，显著减少了好氧池对氧气的需求，从而减少了能源消耗。与此同时，厌氧反应器产生的沼气被回收并部分用于供能，进一步降低了系统的能源需求。

3.3 节能效果与工艺优化

节能效果不仅取决于能耗的降低，还与工艺的优化密切相关。厌氧 + 好氧 MBR 工艺的节能效益在于其高效的有机物降解过程，使得好氧池仅需处理剩余的少量有机物，减少了氧气供给量。具体来看，厌氧反应器对 COD 的去除效率达到 95.16%，大部分有机物已在厌氧阶段去除。优化后的工艺节省了能量，并且有效提高了处理效率，为其他工业废水处理提供了可借鉴的节能方案。

4 经济效益分析

4.1 单独好氧 MBR 工艺的经济性

单独好氧 MBR 工艺在化工废水处理中的应用，虽然能够提供较高的 COD 去除率，但其运行成本相对较高。根据数据，单独好氧 MBR 的吨水处理费用约为 7.244 元/m³。该成本主要来自于高能耗的设备运行，特别是鼓风机的能耗占据了主要部分。在进水 COD 较高的情况下，鼓风机需要提供大量氧气来维持微生物降解，这显著提高了电力消耗。因此，虽然该工艺在处理效果上较为稳定，但其经济性较为有限，适用于对排放要求严格、处理效果要求较高的场合。

4.2 厌氧 + 好氧 MBR 工艺的经济性

与单独好氧 MBR 工艺相比，厌氧 + 好氧 MBR 工艺显著降低了运行成本。厌氧阶段的有机物降解有效减少了对氧气的需求，从而减少了鼓风机的能耗。根据分析，厌氧 + 好氧 MBR 的吨水处理费用为 3.262 元/m³，比单独好氧 MBR 减少了约 55%。在沼气未考虑的情况下，该工艺已经表现出显著的经济优势。如果计入沼气的回收利用，吨水处理费用进一步降低至 0.291 元/m³，进一步提升了经济效益。

4.3 沼气收益的影响

厌氧 + 好氧 MBR 工艺的经济性得益于沼气的回收和利用。在该工艺中，厌氧反应器有效地将废水中的有机物转化为沼气，每天产生的沼气体积为 740m³。按每立方米沼气的市场价格计算，沼气的产生能够为

工厂带来额外的收入，进一步降低废水处理的总费用。具体来看，沼气的产量与进水 COD 的去除量直接相关，随着 COD 去除率的提高，沼气产量也相应增加。

4.4 综合经济效益对比

综合分析两种工艺的经济效益，单独好氧 MBR 与厌氧 + 好氧 MBR 在运行成本、能耗及其他费用上的差异较大。单独好氧 MBR 工艺的吨水处理费用为 7.244 元/m³，厌氧 + 好氧 MBR 工艺则为 3.262 元/m³，二者相差约 55%。如果考虑沼气的收益，厌氧 + 好氧 MBR 工艺的费用进一步下降至 0.291 元/m³，展示了该工艺在节能减排和经济性方面的巨大优势。总体来看，厌氧 + 好氧 MBR 工艺不仅在能效上有所提升，其综合经济效益明显高于单独好氧 MBR，适用于处理高浓度有机废水的工业项目，具有广泛的应用前景。

5 结语

厌氧 + 好氧 MBR 工艺在化工废水处理中的应用，显著提高了处理效率并降低了能耗。通过优化工艺流程，废水中的有机物得以高效降解，减少了对氧气的需求，从而大幅降低了运行成本。与传统好氧 MBR 工艺相比，节能效果和经济效益的提升使该技术具有明显优势。特别是在沼气回收利用方面，进一步降低了整体处理费用，提升了项目的经济性。综合来看，该工艺为化工行业废水处理提供了一种节能高效的解决方案，具有广泛的推广应用潜力。

参考文献：

- [1] 田金野. 厌氧生物技术在现代工业废水处理中的应用探究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024(15):62-64.
- [2] 陈超, 高文郑, 熊文浩, 等. 工业废水处理中厌氧生物技术的应用 [J]. 工程技术, 2023,8(11):217-219.
- [3] 林俊敏, 明玲玲, 徐骥. 某食品废水厌氧处理技术节能效果与经济效益评估 [J]. 当代化工研究, 2023(01):94-97.
- [4] 陈蔚和. 工业废水处理中厌氧生物技术的应用分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022,3(23):8-10.
- [5] 刘光石, 任美泽, 李登. 厌氧+SBR+A/O+MBR 工艺处理养殖废水 [J]. 中国给水排水, 2022,38(20):116-119.
- [6] 丁志芬. 厌氧-好氧组合生物技术在废水处理中的应用 [J]. 化工设计, 2023(5):49-51.
- [7] 聂红燕. 厌氧生物技术应用用于工业废水处理中的研究 [J]. 中小企业管理与科技, 2023(11):137-139.