

MBBR 工艺在水产加工废水处理工程的应用及分析

曾诚 赵文玉

桂林理工大学 环境科学与工程学院, 广西壮族自治区桂林市, 541004;

摘要: 水产食品加工废水常有悬浮物以及动物油脂含量高; 氨氮、磷浓度高; 水温偏低; 污泥呈现胶体状态, 数量庞大且难以脱水; 磷的二次释放回流处理系统等特点, 这无疑增大了处理的难度及运行所需费用。文章以南方某市水产加工废水处理项目为研究对象, 对采用基于纯膜 MBBR 的动力生物膜工艺的运行进行研究分析。该流程工艺集约化, 运行时能耗低, 运行维护简便。在国内污水厂新、改、扩建缺地的背景下, 有效解决了污水厂在提质增效过程中面临的缺地、高标准、高耗能/药、难稳定的问题。

关键词: 水产食品加工废水; MBBR 工艺; 生物膜法; 附着

DOI: 10.69979/3029-2727.24.12.040

引言

近年来, 中国水产行业稳步推进, 发展规模不断扩大, 产量快速提升, 已成为全球生产加工的重要参与者。数据显示, 2015–2022 年中国水产品总产量逐年递增, 2022 年达 6868.78 万吨。水产品作为重要的食品来源, 富含蛋白质及各种微量元素, 符合人们对健康和饮食的需求, 这将持续带动水产行业供应端的增长。

1 水产加工废水处理现状

1.1 我国水产品加工废水水质特征

水产加工废水主要源自这类高蛋白、低脂肪等动物性食品在清洗等工序中所产生的生产废水, 以及生产设备洗刷、车间地面冲洗等所产生的排水。其中废水超标项目主要是生化需氧量 (BOD)、化学需氧量 (COD)、悬浮物 (SS) 这三项。据《中国环境工程案例集 (2020–2024)》统计, 国内已建工程中 68.3% 采用生物接触氧化工艺 (BCO), 该工艺在中低负荷 ($0.8\text{--}1.2\text{ kg CO}_D/(\text{m}^3\cdot\text{d})$) 条件下虽能实现 75–82%COD 去除率, 但存在显著技术瓶颈^[1]。

脱氮效能受限: 基于 DO 梯度分布的传统生物膜结构 (好氧层 $200\text{--}300\text{ }\mu\text{m}$ / 缺氧层 $50\text{--}80\text{ }\mu\text{m}$), 导致同步硝化反硝化效率不足, TN 去除率普遍低于 55% (20°C 条件下), 尤其在盐度 $>3\%$ 时, 硝酸还原酶活性抑制率达 42.7%。

空间效率低下: 填料比表面积 ($150\text{--}200\text{ m}^2/\text{m}^3$) 与生物膜载量 ($8\text{--}12\text{ g VSS/L}$) 的不匹配, 导致容积极

荷仅为活性污泥法的 60–70%, 某虾加工项目实测数据显示, 处理规模 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 的 BCO 系统占地面积达 320 m^2 , 较 A/O 工艺增加 45%。

生物膜调控难题: 市售聚丙烯填料 (水接触角 $92^\circ\pm 3$) 的疏水性表面, 导致初始挂膜周期延长至 14–21d (亲水性填料仅需 7–10d), 且在盐度冲击 ($>5\%$) 时, 生物膜结合水层破坏引发周期性脱落 (脱落量达总生物量的 35–40%), 破坏系统稳定性。

究其本质, 上述问题源于传统生物膜法对水产废水“高盐–高氮–难降解”复合胁迫的适应性不足。最新研究表明, 通过填料表面接枝改性 (如多巴胺涂层降低接触角至 65°), 可使挂膜速率提升 58%, 同时构建“好氧颗粒–生物膜”复合系统, 可将 TN 去除率提高至 72%, 容积负荷提升至 $1.8\text{ kg COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, 为该类废水的高效处理提供了新思路。

1.2 我国水产品加工废水处理工艺

1.2.1 生化处理工艺

在废水治理技术方面, 水产品加工废水主要采用以生物处理为主, 辅以物化处理的方式, 如要达到较高的排放限值还需要设置深度处理工序。

目前行业内通常采用的生化处理工艺有: 混凝–生物接触氧化、AB 法、A–A–O 法、CASS 法、氧化沟、MBR (膜生物反应器) 及 MBBR (移动床生物膜反应器)。下面主要介绍 MBBR 生化处理工艺系统。

1.2.2 MBBR (移动床生物膜反应器)

生物膜技术和传统的活性污泥技术 (CAS) 相比,

具有活性生物物质浓度高、抗冲击负荷能力强、污泥产量低等优势^[2]。在生物膜技术里，移动床生物膜反应器（Moving bed biofilm reactor, MBBR）是优先考虑的脱氮工艺，在过去 20 年中备受关注。MBBR 是在流化床反应器和生物接触氧化法的基础上发展起来的一种完全混合且连续运行的生物膜反应器，它能有效解决曝气生物滤池需定期反冲洗、生物转盘占地面积大、流化床高密度载体流化能耗大等问题^[3]，更适合处理低浓度、大水量的废水（如水产养殖废水）以及含有有毒物质、难降解有机物的废水（如医疗废水）。填料是 MBBR 工艺的核心，它为微生物提供了合适的生长繁殖环境，直接影响生物膜的结构与性能，在一定程度上决定了该工艺对废水的处理成效。当前市场上常见的填料种类主要有陶粒、聚乙烯、聚氨酯等，有材料证实，聚乙烯作为高分子填料材料在污染物去除的各项指标方面表现均衡且稳定，因此在 MBBR 工程应用中，聚乙烯至今仍是载体材料的首选。

表 1 本项目水产品加工废水进水水质情况表

指标	BOD5	CODcr	TN	NH3-N	TP	pH	SS
单位	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L
进水指标	160±	850±	160±	90±	40±	6~9	200±
出水指标	≤30	≤100	≤15	≤25	≤3.0	6~9	30

3 工程运行效果与分析

3.1 监测指标及方法

根据《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002 中的水污染物监测分析方法表，本工程运行阶段确定所需监测的指标及监测方法如下。

表 2 监测指标及方法

项目	分析方法
CODcr	重铬酸盐法 GB11914—89
BOD5	稀释与接种法 GB7488—87
PH	玻璃电极法 GB6920—86
NH3-N	蒸馏和滴定法 GB7478—87
总氮	碱性过硫酸钾-消解紫外分光光度法 GB11894—89
总磷	钼酸铵分光光度法 GB11893—89
SS	重量法 GB11901—89

3.2 废水处理效果分析

3.2.1 CODCr 和 BOD5 的处理效果

以设备 2022.06 至 2023.05 共计 335d 的进出水水

2 水产废水处理工程概况

2.1 水产品处理废水水量

根据广西壮族自治区地方标准《工业行业主要产品用水定额》DB45/T 678—2023、《水产品加工业水污染物排放标准》（征求意见稿）以及相关水产品《行业用水定额》辽宁省地方标准（DB21/T1237—2020）等计算，本水产品加工用水量约为 1662t/d，生产废水量按照总日用水量 85% 计算，约为 1412.7t/d。由于未来招商企业的生产水平有所偏差，并考虑一定的生产余量，本水产品加工生产废水总产生量按 2000m³/d 计。

2.2 本项目水产品加工废水水质

废水（进水和出水）样品在运输后储存在冰箱（2°C 到 5°C）的塑料容器（2 L），并在 24 小时内分析其化学特性。所有分析均按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002 中的水污染物监测分析方法表。本项目水产品废水处理设施进水情况如下表 1。

质数据进行分析。

设备进水 CODcr、BOD5 均值分别为 556mg/L 和 128mg/L，出水均值分别为 43.1mg/L 和 7.0mg/L。以《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918—2002 出水二级标准分析，经过处理设施后出水 CODcr 和 BOD5 均值分别为 27.8mg/L 和 5.4mg/L，去除率分别为 85.74%、92.92%，如下图 1。由此可见，COD 在生化处理后大幅度下降，出水有机物指标均能够稳定达标。

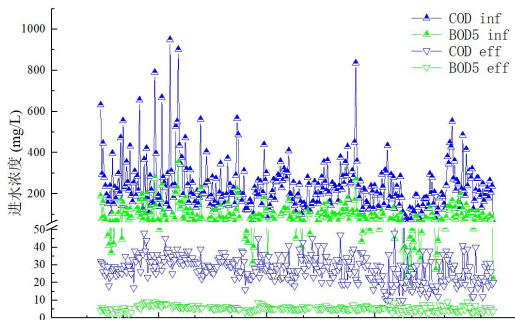


图 1 生化系统对 CODcr 和 BOD5 的处理效果

3.2.2 SS 和 TP 的处理效果

设备进水 SS、TP 均值分别为 258.29mg/L 和 6.75mg/L，出水均值为 8.45mg/L 和 1.04mg/L，去除率达到 96.87% 和 87.32%，如图 2 所示。经生化设备处理后，出水 SS 和 TP 的浓度均能稳定达标。

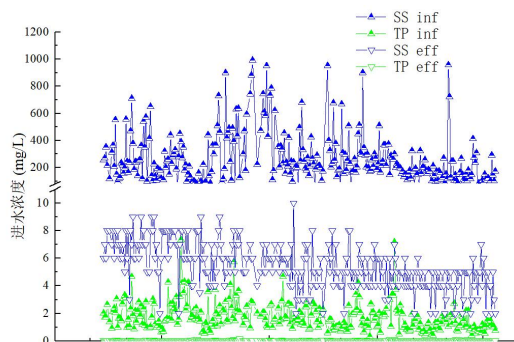


图 2 生化系统对 SS 及 TP 的处理效果

3.2.3 TN 和 NH₄+N 的处理效果

设备的进出水 TN、NH₄+N 情况如图 3 所示。进水 TN、NH₄+N 均值分别为 78.67mg/L 和 35.98mg/L，出水均值为 7.16mg/L 和 3.41mg/L，去除率分别达到 90.89% 和 90.52%。该进水 C/N 不足，平均仅 3.0，而理论要求脱氮工艺要求 C/N 比在 4.0~6.0 之间。因此，考虑在生物池配水井和三级缺氧区适当投加碳源，将进水 C/N 提升至 5.0，保障了反硝化的进行。在进水水质波动较大时，系统并未受水质冲击和冬季低温的影响，出水 TN 和 NH₄+N 基本稳定达标。主要一是悬浮载体的存在增强了系统硝化性能；二是以优先保证反硝化的思路，而扩大缺氧区，进而提高了 TN 的去除效果，从而保证了 TN 和 NH₄+N 的达标排放。此外，在满足分配池适容积，反硝化池容积足够的前提下，合理投加日常碳源，既保障生化系统的反硝化作用正常进行，又助推了出水 TN 的达标排放。

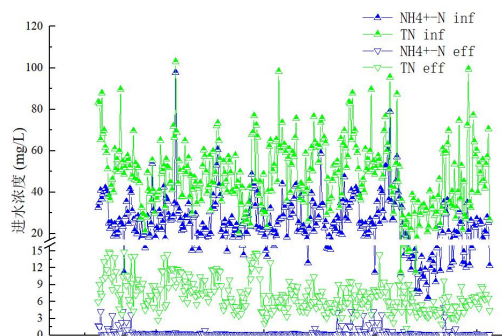


图 3 生化系统对氨氮及 TN 的处理效果

4 结论及建议

本文以某市水产品加工废水处理设施项目为实例，从水产加工环境污染现状问题为切入点，对水产加工排污节点与废水特征进一步阐述，并以 2022 年 6 月至 2023 年 4 月共计 335d 的进出水水质数据进行处理效果进行深入分析，旨在说明 MBBR 动力生物膜工艺系统，凭借微生物以附着态存在于悬浮载体的形式，具有容积负荷高、处理效果好、耐低温、工艺流程简单稳定等特点，是一种高效、灵活且具有诸多优势的生物处理工艺。在水厂新建或改造尤其是提标提量工程中应用优势明显，可在不增加池容情况下提升处理效果。该工艺在微生物形态、工艺流程布置及污染物去除方面均有出色表现，通过多种方式实现氮素、有机物及其他污染物的有效去除，是一种具有广泛应用前景和较高实用价值的生物膜工艺。

参考文献

- [1] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 《食品加工制造业水污染物排放标准》[S]. 北京, 2020. 03
- [2] 曾洋, 朱宝玉. 城市生活污水处理工艺综述 [J]. 环境与发展, 2019, 31 (7): 76.
- [3] 仇天雷. 循环水养殖废水生物脱氮技术及其影响因素研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2016.