精细化工废水高效率低成本环保处理实例分享

张熙堂

潍坊市青州生态环境监控中心

摘要：本文研究了精细化工废水处理技术，对其水质特性、工艺选择性原则、各项技术的适用范围进行了研究。采用厌氧折流板反应器 ABR 与序批式活性污泥法 SBR 相结合的生化处理以及混凝沉淀深度处理工艺，能有效去除有机污染物，降低对环境的危害。该研究可有效去除 COD、BOD_5 和 NH_3-N，同时减少污泥产量，降低二次污染。研究表明，该工艺不仅能稳定达标排放，还可降低能耗和运行成本，减少碳排放，并推动污泥资源化利用，对生态环境保护和精细化工行业的可持续发展具有重要意义。

关键词：项目成本管理；成本控制流程；动态监控；环保工程

精细化工废水因其高 COD、高盐分、低可生化性和生物毒性大等特点，给环境治理带来较大挑战。如何高效、稳定地处理该类废水，实现达标排放并减少环境污染，是当前环保领域的重要课题。本文基于 ABR+SBR 两级生化处理工艺，并结合混凝沉淀技术，优化废水处理流程，提高污染物去除率。

1　精细化工废水处理技术选择

1.1　工艺选择原则

在选用精细化工废水处理技术方案时，首先要考虑方案的实用性、可靠性，确保能够达标排放，对废水有较强的冲击负荷，能够满足水质变化需求。方案设计要与周围环境相匹配，因地制宜，节约利用土地，减少对自然生态的破坏 [1]。选择技术要考虑处理效率、能耗、基建投资和运行成本等，应尽可能选择高效低能耗、低排放的环保型技术，减少碳排放及污染物排放。

1.2　处理工艺设计

ABR+SBR 两级处理 + 混凝沉淀。本方案采用 ABR+SBR 两级生化处理，能够充分利用厌氧微生物和好氧微生物的协同作用，提高废水处理效率。第一阶段的 ABR 反应器可降解大部分有机物，并降低废水毒性，提高可生化性；随后，SBR 反应器进一步降解污染物，去除 COD、BOD_5 和氨氮。该方案在经济性、处理效果和环保效益上均表现最佳，其 ABR—SBR 组合工艺不仅能高效降解有机污染物，减少有毒物质的残留，同时能耗低、污泥产量少，减少二次污染，被最终选定为本项目的废水处理工艺 [2]。

1.3　工艺流程及简述

1）预处理。工业废水质量和水量变化较大，为保证后续处理稳定，废水首先通过集水池调节其质量和水量，并初步沉淀。废水经过泵提升进入调节池，再次调节废水的 pH 值、水温和水量，确保后续生化处理单元在最佳条件下运作。该阶段的主要目标是减少水质波动对处理系统的冲击，提高整体系统的稳定性。

2）生化处理。本工法选用 ABR 和 SBR 方法，以 ABR 作为厌氧处理单元，通过厌氧微生物对有机物的降解作用，增加废水可生化的性质和减小废水毒性。经 ABR 处理后的废水进入 SBR 反应器，通过周期性曝气和沉淀作用，有效去除 COD、BOD_5 和氨氮。

3）后处理。经过生化处理后，废水仍可能含有部分悬浮物和胶体污染物，因此采用混凝沉淀工艺进行深度处理。向混凝沉淀池投加适量混凝剂（PAC、PAM），使颗粒物凝聚沉降，提高废水的澄清度。沉淀后的清水进入清水池，达标后排入市政污水处理厂或回用，确保最终出水符合排放标准，同时减少对周边水体的污染。处理工艺流程如图 1 所示。

2　EST 复合菌处理精细化工废水试验研究

2.1　试验材料

1）废水来源。实验所用废水取自吉林省某精细化工厂废水车间，该废水主要来源于生产过程中的工艺排水、设备清洗水、试验废水等，具有 COD

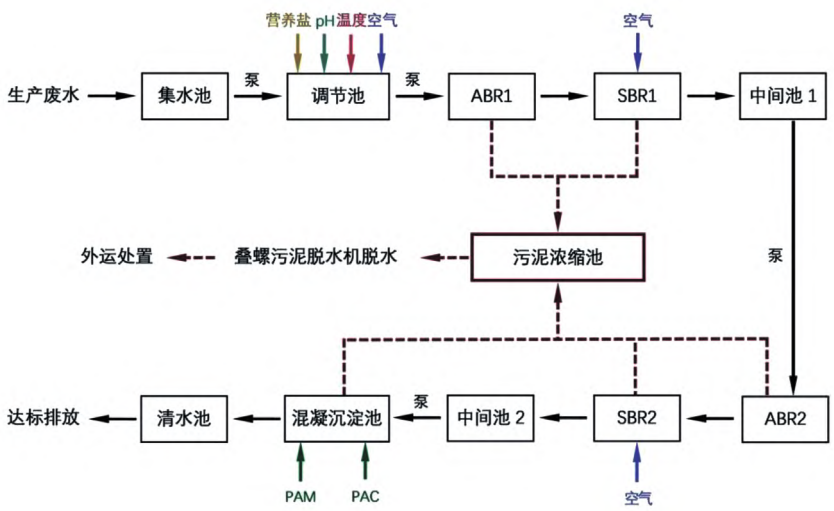

图 1　处理工艺流程图

浓度高、BOD_5/COD 低、可生化性差、生物毒性大等特点。

2）活性污泥。本试验所采用的污泥沉降性能良好，SV 值为 23%，MLSS 浓度为 1475 mg/L。该污泥含有多种微生物，能够降解有机污染物，但对水质波动较敏感，污泥产量较大，处理高浓度复杂工业废水的效果有限。

3）EST 复合菌。EST 复合菌是一种环境友好型微生物菌剂，由 15 属 43 种菌种组成，来源于生物科学研究所。其中包含芽孢杆菌、假单胞菌、硫杆菌、醋酸杆菌等。EST 复合菌可更高效降解精细化工废水中的难降解有机物，提高处理效率，减少污泥排放，并提升系统的稳定性和抗冲击能力[3]。

2.2　试验装置与方法

1）试验装置。实验流程如图 2 所示，本试验采用 ABR（厌氧折流板反应器）和 SBR（序批式活性污泥法）进行对比试验。ABR 反应器由厚 5 mm 的有机玻璃制成，分为 4 格，总容积 12 L，配有进水、排泥和导气装置。SBR 反应器为 4 L 透明有机玻璃容器，内设电动搅拌器和微孔曝气装置。

试验还配备了水箱（14 L）用于储存废水，并使用测温装置和 pH 计实时监测水温和酸碱度，以确保试验环境的稳定性。

2）培菌阶段。活性污泥和 EST 复合菌在实验装置中分别培养 15 天，以激活微生物活性。培养活性污泥时，应投加营养物质。EST 复合菌 15 天后完成复壮，形成稳定的微生物群落，试验过程中，控制废水 COD 浓度在 2000 mg/L，以保证微生物适应生长环境。

3）污泥驯化。为提高微生物对精细化工废水的适应性，需对活性污泥和 EST 复合菌进行驯化。SBR 采用间歇式进水、曝气、沉淀、排水的方式运行，逐步提升负荷。当 COD 去除效率稳定，表明微生物适应废水环境，驯化完成。

4）正常运行试验。试验正式运行时，废水从水箱进入 ABR 反应器，经厌氧降解后流入 SBR 反应器进行好氧处理。试验过程中，控制 COD 1900 020 000 mg/L、BOD_5 30 004 000 mg/L、NH_3-N 450 ~ 500 mg/L，严格监测温度、搅拌速率和氧气供应。

对比分析活性污泥与 EST 复合菌的污染物去除率、污泥特性及系统运行稳定性，以评估 EST 复合菌的处理效果及可行性。

2.3　结果与分析

1）启动试验对比。COD 去除率在初始阶段随 EST 复合菌和活性污泥的增加呈现逐步上升的趋势，如图 3 所示。培养中 EST 的 COD，由原来的 25% 增加到最终的 48%，活性污泥仅提升了近 10 个百分点，达到 43%。采用污泥与 EST 复合菌混合处理时，其 COD 去除率能达到 85%，高于活性污泥的 70%。试验表明，EST 复合菌适应性更强，能快速建立稳定的微生物系统，在高毒、高盐环境下保持较高的降解能力。

2）稳定运行对比。在稳定运行阶段，EST 复合菌对 COD、BOD_5 和 NH_3-N 的去除率均优于活性污泥。实验数据显示，EST 复合菌的 COD 去除率稳定在 90% 以上，而活性污泥波动较大，仅为 75% ~ 80%。

此外，EST 复合菌的脱色能力高出活性污泥 10 倍，运行过程中未产生明显臭味，并能有效适应水质波动，表现出更强的抗冲击负荷能力，使系统稳定性显著提高。

3）污泥特性分析。实验结束后，EST 复合菌系统的 MLSS（混合液污泥浓度）达到 2766 mg/L，高于活性

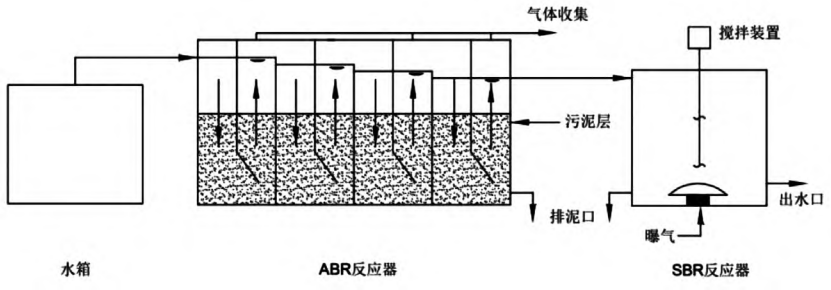

图 2　试验流程图

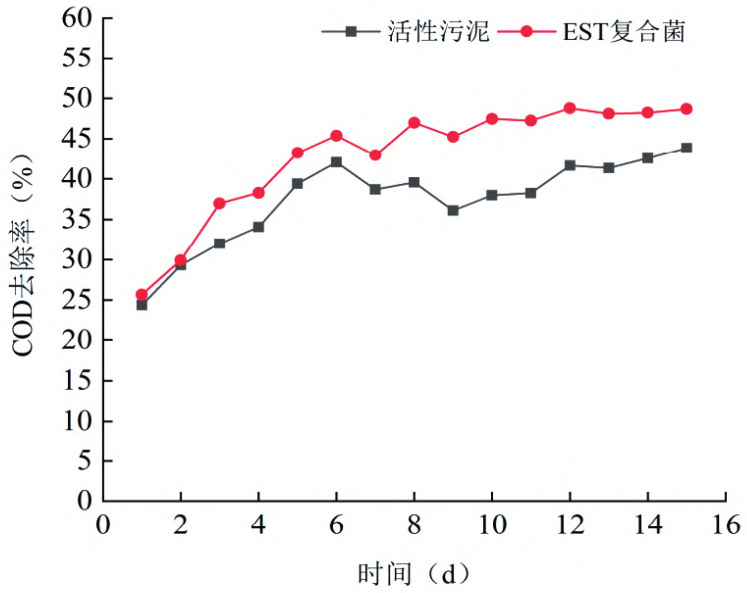

图 3　EST 复合菌与活性污泥的 COD 去除率对比

污泥的 2237 mg/L，表明其生物量更高，降解能力更强。同时，EST 复合菌的 SV（污泥沉降比）达到 30%，高于活性污泥的 23%，说明其污泥沉降性更好，污泥产量更少。较高的污泥浓度和较好的沉降性能使其在废水处理过程中更高效，同时减少了污泥排放量，降低了后续污泥处理成本。

3　精细化工厂污水站设计

3.1　废水处理单元设计

1）集水池。集水池主要用于将水质和水量较为稳定的精密化工废水进行汇集、储存和平衡，以减少对后续处理单元的冲击。由于废水含有高盐分，对设备和管道有较强腐蚀性，因此池体材料需具备耐腐蚀性。为防止悬浮物沉淀堵塞，集水池采用穿孔曝气管进行空气搅拌，空气搅拌强度以 2 m^3 空气 /m^3 · h 设计，以保证水质均匀，提高后续处理效果。

集水池有效容积计算公式：

$V=T\times Q$

式中：T——水力停留时间（h），本设计取 8 h；

Q——设计流量（m^3/h），取 20 m^3/h。

2）调节池。调节池的主要作用是均质均量，保证废水水质稳定性，并调节 pH 值和温度，减少水质波动对生化处理的影响。池体设有搅拌系统，通过机械搅拌或空气搅拌方式维持均匀混合。调节池采用卧式离心泵提升废水至后续处理单元，同时配备 pH 值监测系统，根据水质情况适量投加调节剂，确保进入生化系统的废水处于最佳处理条件。

3）ABR 反应器。ABR（厌氧折流板反应器）是本项目的核心生化处理单元，用于水解酸化，分解大分子有机物，提高废水的可生化性。ABR 反应器内部设有多个隔室，通过上下循环流动，使微生物与有机污染物充分接触，提高处理效率。采用底部布水管进水、分格集气的方式，提高废水均匀分布效果，减少微生物流失，增强抗冲击负荷能力，并降低处理成本。

4）SBR 反应器。SBR（序批式活性污泥法）是一种高效好氧处理工艺，集生物降解、沉淀、去除 COD、BOD 和 NH_3-N 于一体，无需污泥回流，运行方式灵活。SBR 运行周期分为进水、曝气、沉淀和排水 4 个阶段，采用微孔曝气方式，确保氧气均匀分布，提高微生物活性。同时，该工艺污泥产量较少，运行稳定，有利于提高系统的经济性和环保性。

SBR 运行周期：$t=t_1+t_2+t_3+t_4$，其中 t_1=8 h（进水）；t_2=12 h（曝气）；t_3=3 h（沉淀）；t_4=1 h（排水）。

5）中间池。中间池用于存储 ABR 和 SBR 出水，均衡水质和水量，避免水质波动对后续处理单元的影响。中间池可减少废水中的溶解氧含量，为后续化学处理或深度处理提供更稳定的进水条件。

此外，中间池设置液位监测装置，确保水量调节的精准性，避免系统超载运行，提高整体处理稳定性。

6）混凝沉淀池。混凝沉淀池用于去除废水中的悬浮物和胶体污染物，改善水质透明度，提高处理达标率。通过投加混凝剂（PAC、PAM），使悬浮颗粒凝聚成较大的絮体，从而加速沉降。沉淀后的污泥通过排泥系统进入污泥处理单元，而上清液进入清水池进一步存储或外排。该工艺可有效降低出水浊度，提高最终处理效果。

3.2　污泥处理单元设计

1）污泥浓缩池。在精细化工废水处理中，主要产出污泥是生化污泥和混凝沉淀污泥，这类污泥含水率大，不能直接运输和处理。通过重力浓缩作用，使污泥固体浓度提高，同时减少上清液的悬浮物浓度，避免对后续处理单元造成冲击。

本工程采用重力浓缩法，污泥沉降时间设计为 18 h，浓缩后污泥含水率由 98% 降低至 97%。

2）污泥脱水机。污泥进行脱除水分处理，降低污泥体积，提高处理效率。叠螺脱水机采用螺旋压榨方式，使污泥在低能耗、低药剂投加量的条件下，实现污泥脱水。

（下转第 55 页）

参考文献：

[1] 李阳，廉培庆，薛兆杰，等．大数据及人工智能在油气田开发中的应用现状及展望 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2020, 44(4): 1-11.

[2] 王海广．大数据技术打造油田智能云平台展望 [J]. 化学工程与装备，2020(12):106-107.

[3] 岳登进，冯明．过去 10 年国外钻井技术的重要进步 [J]. 钻采工艺，2001, 24(4): 5-7.

[4] QIN H., LIU Q. Y..Intelligent Drilling: A Prospective Technology of Tomorrow[C]// 2006 SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition. Beijing, China: SPE, 2006: SPE-103781.

[5] HILL J. R. M., SMELSER T. W., SIGNER S. P., et al. Intelligent Drilling System for Geological Sensing[C]// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Yokohama, Japan: IEEE, 1993: 1-5.

[6] 刘振武，方朝亮，王同良．高新技术在石油工业中的应用展望 [M]. 北京：石油工业出版社，2003.

[7] 石崇东，李琪，张绍槐．智能油田和智能钻采技术的应用与发展 [J]. 石油钻采工艺，2005, 27(3) :1-4

[8] 张绍槐．论智能钻井理论与技术及其发展 [J]. 天然气工业，2008, 28(11): 3-7.

[9] 王敏生，光新军．智能钻井技术现状与发展方向 [J]. 石油学报，2020, 41(4): 133-140.

[10] 刘伟，闫娜．人工智能在石油工程领域应用及影响 [J]. 石油科技论坛，2018, 37(4): 32-40.

[11] 李根生，宋先知，田守．智能钻井技术研究现状及发展趋势 [J]. 石油钻探技术，2020, 48(1): 1-8.

[12] 汪湖滨．井场多专业数据发布平台的设计与实现 [J]. 化工管理，2020(20): 80-82.

[13] 段绪林，文苏苏．应用井场信息远程传输系统减少钻井复杂故障 [J]. 安全，2017, 38(12):13-15.

(上接第 51 页)

设计脱水后污泥含水率可降至 70% 以下，体积减小至原来的 1/3 ～ 1/5，便于后续运输和处理。叠螺脱水机相比传统的板框压滤机和离心脱水机，具有能耗低、运行稳定、维护简单、不易堵塞等优势，特别适用于含油污泥和高黏性污泥的处理。

4 环保效益分析

1）该技术采用厌氧折流板反应器（ABR）与序批式活性污泥法（SBR）相结合的效果，提高了废水的生物可降解性，有效降解了高浓度有机污染物，减少了有害物质进入环境，对水环境保护意义重大。混凝沉淀工艺的应用进一步降低了废水中的悬浮物和胶体污染物，提高了出水水质，确保达标排放或回用，减少对水体生态的污染 [4]。

2）SBR 工艺无需污泥回流，减少了污泥产生量，同时通过优化曝气方式，降低了氧气供应能耗，提高了系统的经济性。厌氧处理过程中，部分有机污染物可转化为甲烷等可回收能源，实现资源化利用，进一步减少碳排放。污泥处理方面，采用重力浓缩 + 叠螺脱水工艺，降低了污泥的含水率和外运成本，同时减少了污泥处置带来的二次污染 [5]。

3）使用自动控制技术提高了系统的稳定性与工作效率，减少了人为干预，提高了废水分系统处理过程的智能化水平。通过优化药剂投加和污泥管理，降低了化学品的使用量，减少了二次污染的风险。

5 结语

本文研究了精细化工废水的水质特性及其处理工艺，重点探讨了 ABR+SBR 两级生化处理结合混凝沉淀的优化方案。试验表明，该工艺能有效降解有机污染物，减少 COD、BOD_5 和 NH_3-N 排放，并显著提高系统的抗冲击能力。EST 复合菌的应用进一步增强了废水处理的稳定性，提升了污染物去除率，同时减少污泥排放和二次污染。相比传统工艺，该方案在环保效益、经济性和可持续性方面均表现优越。

参考文献：

[1] 郭路．生态环境保护中环境监测的作用及技术应用研究 [J]. 黑龙江环境通报，2025, 38 (02): 61-63.

[2] 刘伟．城市水资源污染治理与环境保护探析 [J]. 黑龙江环境通报，2025, 38 (02): 118-120.

[3] 吕银凤．化工行业废水处理技术创新与环境友好型工艺研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量，2025, 45 (01): 196-198.

[4] 姜林，何蕾．化工企业废水环保处理的现状和湿式氧化技术应用案例分析 [J]. 科技与金融，2024(12): 9-17.

[5] 张雨琦．节能减碳技术在煤化工废水催化氧化处理中的应用 [J]. 中国轮胎资源综合利用，2024(10): 35-37.