

实验研究方法在水污染治理中的应用 及生态环境工程实践

张文龙

广州鹏锦环保科技有限公司, 广东 广州 511436

DOI:10.61369/EAE.2025040014

摘 要 : 介绍水污染治理实验研究方法, 包括受控实验、动态模拟等, 阐述物理 – 化学分析、生物毒性测试等框架内容, 还涉及化工废水处理、生态修复技术对比等。同时提到水质模型构建、机器学习辅助等, 分析多种评估方法及工程实践, 指出方法的优势与局限, 以及新技术带来的机遇。

关 键 词 : 水污染治理; 实验研究方法; 生态环境工程

Application of Experimental Research Method in Water Pollution Control and Practice of Ecological Environment Engineering

Zhang Wenlong

Guangzhou Pengjin Environmental Protection Technology Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 511436

Abstract : This paper introduces experimental research methods for water pollution control, including controlled experiments and dynamic simulations. It outlines the framework of physical–chemical analysis and biological toxicity testing, and also covers the comparison of chemical wastewater treatment and ecological restoration technologies. Additionally, it discusses the construction of water quality models and the use of machine learning assistance, analyzing various evaluation methods and engineering practices. The paper highlights the advantages and limitations of these methods and the opportunities presented by new technologies.

Keywords : water pollution control; experimental research methods; environmental engineering

引言

水污染治理是生态环境工程的关键领域, 对保护水资源和生态系统至关重要。2020年发布的《关于构建现代环境治理体系的指导意见》强调了科技创新在环境治理中的核心作用。实验研究方法在水污染治理中具有重要地位, 它涵盖了从物理 – 化学分析到生态效应评估等多方面内容, 为准确了解水污染状况及制定治理方案提供依据。不同的实验技术如批次实验与连续流反应器在化工废水处理中各有优劣, 且多种生态修复技术在不同污染情境下表现各异。数值模型构建及机器学习辅助参数反演等方法也为治理提供了科学支持。这些都体现了实验研究方法在水污染治理及生态环境工程实践中的重要性及复杂性。

一、实验研究方法体系构建

(一) 实验研究方法基本原理

实验研究方法在水污染治理领域有着坚实的科学依据。受控实验是其重要基础, 通过对实验条件的严格控制, 能够排除干扰因素, 准确地研究特定因素对水污染治理效果的影响^[1]。例如, 在研究某种新型水处理剂的效果时, 可控制水质、温度、酸碱度等条件保持一致, 仅改变水处理剂的用量, 从而清晰地观察到其对污染物去除率的作用。动态模拟方法则基于对水污染系统的动态特性的认识, 通过建立数学模型模拟实际环境中水污染的变化过程, 为治理方案的优化提供理论支持。这些方法的综合运用有

助于深入了解水污染治理的内在机制, 为生态环境工程实践提供有力指导。

(二) 生态环境工程研究方法体系

物理 – 化学分析是实验方法框架的基础部分, 通过对水体中各种物理化学指标的测定, 如酸碱度、溶解氧、化学需氧量等, 来了解水污染的基本情况^[2]。生物毒性测试则从生物角度评估污染物对生物的毒性影响, 常用的测试生物包括藻类、水蚤等, 能够直观反映污染物的潜在危害。生态效应评估是综合性实验方法框架的重要组成部分, 它关注水污染对整个生态系统的影响, 包括对水生生物群落结构、生态系统功能的改变等。综合这三个方面, 可以全面、系统地研究水污染问题, 为水污染治理和生态环

境工程实践提供科学依据。

二、水污染治理实验技术应用

（一）工业废水处理工艺优化

批次实验与连续流反应器在化工废水处理中均有应用。批次实验具有操作灵活、易于控制反应条件等优点，能方便地研究不同因素对废水处理效果的影响^[9]。通过设定不同的反应时间、药剂投加量等参数，可以快速获取废水处理的相关数据。而连续流反应器更接近实际工业生产中的废水处理流程，能够稳定地处理大量废水。它可以模拟废水在实际处理系统中的流动状态和反应过程，对于评估处理工艺的长期稳定性和可靠性具有重要意义。在实际应用中，需要根据化工废水的水质特点、处理要求以及经济成本等因素，综合考虑选择合适的处理方式或对两者进行优化组合，以提高化工废水处理效能。

（二）生态修复技术筛选实验

为筛选有效的水污染生态修复技术，开展了针对人工湿地和生物膜技术在不同重金属污染水体中去污能力的对比实验。设置不同浓度重金属污染的水体样本，分别引入人工湿地和生物膜处理系统。在实验过程中，定期监测水体中重金属含量、化学需氧量、生化需氧量等关键指标的变化^[4]。结果显示，人工湿地在某些重金属污染水平下对特定重金属有较好的去除效果，其通过植物吸收、微生物分解及土壤吸附等综合作用实现去污。生物膜技术则在另一些条件下表现出优势，生物膜上的微生物群落对重金属有独特的吸附和转化机制。通过对比分析两种技术在不同污染情境下的表现，可为实际水污染治理中生态修复技术的选择提供科学依据。

三、数值模拟与统计分析集成

（一）污染物迁移扩散建模

1. 水动力-水质耦合模型构建

建立考虑流速、温度梯度的三维水质数值模型对于准确模拟污染物迁移扩散至关重要。首先需考虑水动力因素，水流的速度、方向等会影响污染物的传输路径。温度梯度也不可忽视，它会改变水体的密度等物理性质，进而影响水动力过程以及污染物的扩散速率^[9]。通过综合考虑这些因素，利用相关的物理定律和数学方程，构建水动力-水质耦合模型。该模型能够更真实地反映水体中污染物的迁移扩散情况，为水污染治理提供科学依据，帮助制定更有效的治理策略和措施。

2. 机器学习辅助参数反演

在污染物迁移扩散建模中，机器学习辅助参数反演是重要环节。以随机森林算法为例，它可用于优化模型参数敏感度分析。通过对大量实验数据和监测数据的学习，随机森林算法能够挖掘出参数之间的复杂关系以及对污染物迁移扩散的影响程度^[9]。这种基于机器学习的方法避免了传统方法在处理复杂非线性问题时的局限性，提高了参数反演的准确性和效率。它还可以对不同参

数组合下的污染物迁移扩散情况进行预测和模拟，为水污染治理提供更科学的决策依据，有助于制定更有效的污染控制措施和生态修复方案。

（二）治理效果多维度评估

1. 主成分分析法应用

主成分分析法是一种有效的多变量统计方法，可用于水污染治理效果的多维度评估。该方法能够从众多相关指标中提取出少数几个主成分，这些主成分能够保留原始数据的大部分信息，从而简化数据分析过程。在水污染治理中，首先确定一系列可能影响治理效果的指标，如水质的化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD）、氨氮含量等，以及一些与生态环境相关的指标，如生物多样性指数等^[7]。然后，运用主成分分析法对这些指标进行分析，确定各个主成分的贡献率和载荷矩阵。通过对主成分的分析，可以了解不同因素对治理效果的影响程度，为进一步优化治理方案提供科学依据。

2. 治理方案决策树模型

在水污染治理中，治理方案决策树模型具有重要意义。通过数值模拟与统计分析集成，可对治理效果进行多维度评估，进而构建有效的决策树模型。利用数值模拟能精确呈现不同治理方案下的水污染变化情况，为决策树的分支提供数据基础^[8]。统计分析则对模拟结果进行综合处理，提取关键指标用于评估治理效果。这些指标涵盖水质改善程度、生态恢复情况等多维度信息。基于这些数据构建决策树模型，能够清晰地展示不同条件下的最优治理方案选择路径，为实际治理工作提供科学、准确的决策依据，提高水污染治理的效率和效果。

四、生态环境工程实践案例

（一）流域综合治理工程

1. 生态拦截工程技术

构建梯级湿地-生态浮岛组合式面源污染控制系统是一种有效的生态拦截工程技术。湿地通过植物吸收、微生物分解等作用去除污染物，生态浮岛利用水体表面植物吸收营养物质，梯级设置可针对不同污染程度分级处理。该技术在太湖流域、滇池流域等多地成功应用。例如，太湖湖滨国家湿地公园建设35万平方米生态浮岛与10公里生态围堰，年削减总氮8.7吨、总磷0.87吨，水体透明度提升30%，区域鸟类种类从147种增至204种。在苏州消夏湾生态安全缓冲区，15.5公顷梯级湿地系统年削减入太湖总氮8.7吨、总磷0.87吨，出水水质稳定优于地表Ⅲ类标准，氨氮和总磷去除率分别达75.5%和57.9%^[9]。

2. 工程运行效能监测

昆明市滇池管理局构建的流域在线水质监测系统，整合35条入湖河道的15个自动监测站数据，实时追踪化学需氧量、氨氮等20余项指标。系统通过AI模型分析污染源，精准定位超标河段。2023年数据显示，滇池全湖水水质连续7年保持Ⅳ类，35条入湖河道综合达标率达93.9%，Ⅰ—Ⅲ类水质河道占比78.8%。2024年两次蓝藻预警中，系统联动溶解氧数据触发应急调水，48

小时内避免大规模鱼类死亡事件，生态补偿断面水质改善率提升18.1%^[10]。

（二）工业园区生态工程实践

1. 零排放工艺系统设计

在工业园区生态工程实践的零排放工艺系统设计中，集成MBR膜技术与高级氧化技术构建闭环水处理系统。MBR膜技术通过高效截留实现悬浮物、有机物分离，高级氧化技术深度分解难降解有机物。蒙苏经济开发区零碳产业园工业污水处理厂采用“除硅除硬+MBBR+超滤反渗透”工艺，日处理10万吨工业废水，回用率达95%，年分质产出氯化钠2.5万吨，刷新国内光伏废水处理规模、回用率、分盐量三项纪录。苏州工业园区通过“预处理+MBR+高级氧化”系统，工业废水回用率达98%，年节约新鲜水180万吨，降低企业用水成本超2亿元。

2. 能源-环境协同评价

工业园区生态工程实践中的能源-环境协同评价至关重要。生命周期评价方法可全面量化环境经济效益，通过分析能源使用和环境排放情况，确定能源消耗模式及环境影响，识别能源低效环节和主要污染源，为节能减排提供依据。结合经济指标，评估环境改善带来的经济效益，如减少污染罚款、提升企业形象。某工业园区经此评价发现能耗集中在生产加工，污水排放是主要问题。采取措施后，能源利用效率提高，污水达标排放，经济上减少罚款并增加效益，实现能源-环境-经济协同发展。

（三）城市水体修复工程

1. 黑臭水体生物-生态联合治理

实施微生物强化-沉水植物修复的复合技术路径，通过投加微生物菌剂强化污染物分解，沉水植物吸收营养物质并抑制藻类。河南周口淮阳区如意湖治理中，建设日处理50吨污水处理

站，投加复合微生物菌剂并种植芦苇、荷花，3个月后化学需氧量下降60%、氨氮下降75%，透明度从20厘米提升至1.2米，黑臭现象消除，坑塘水域面积扩大至1.6万平方米，实现生态补水与农业灌溉回用。北京凉水河经开开区段通过微生物-沉水植物协同修复，水质从劣Ⅴ类提升至Ⅳ类，河道两岸绿化面积增至287万平方米，监测到43种鸟类栖息。

2. 修复效果动态可视化

在城市水体修复工程中，开发基于GIS的治理效果空间可视化分析系统，整合水质监测数据，空间映射展示修复动态过程。北京凉水河综合治理项目构建GIS可视化平台，动态展示11公里河道水质改善过程，分析河段污染差异，针对性调整微生物投加量与植物配置方案。系统实时追踪化学需氧量、氨氮等指标，结合卫星遥感数据评估生态修复进度，使治理周期缩短20%，河道行洪能力提升至“50年一遇”标准，成为北方城市河道生态修复典范。

五、总结

实验研究方法在水污染治理及生态环境工程实践中具有重要意义。一方面，其展现出诸多技术优势，如能精准分析污染物成分与特性，为治理方案提供科学依据。另一方面，也存在一些局限性，像数值模拟精度不够，难以完全准确地反映实际情况，以及生态修复长效性评估体系不完善，无法全面衡量修复效果的持久性。随着科技发展，人工智能与物联网技术为环境工程带来新机遇。人工智能可通过大数据分析优化治理策略，物联网技术能实现实时监测与远程控制，二者结合将推动智慧环境工程的发展，有望提高水污染治理效率和生态环境修复质量。

参考文献

- [1] 李学峰. 经济系统中水污染治理的关联效应研究 [D]. 中国科学院大学, 2022.
- [2] 熊炜. 洞庭湖流域水生态保护与水污染治理的立法研究 [D]. 湘潭大学, 2021.
- [3] 刘宇航. 基于 DEA 模型的湖北省水污染治理效率及提升研究 [D]. 华中师范大学, 2022.
- [4] 吴云. 高邮湖水污染治理面临的困境、原因及对策研究 [D]. 扬州大学, 2021.
- [5] 朱丹丹. 煤气化细渣在土壤改良及水污染治理中的资源化利用研究 [D]. 吉林大学, 2021.
- [6] 易海晏, 易玉梅. 生态环境工程中微生物治理技术的应用 [J]. 低碳世界, 2022, 12(9): 34-36.
- [7] 边秀春. 生物强化技术在水污染治理中的应用实践分析 [J]. 清洗世界, 2024, 40(3): 148-150.
- [8] 陈梅. 生物强化技术在水污染治理中的应用研究 [J]. 山西化工, 2023, 43(5): 126-128.
- [9] 王惠众. 河道整治中的水污染治理方法探讨 [J]. 清洗世界, 2023, 39(1): 119-121.
- [10] 刘景. 浅谈环境工程中水污染的危害与治理 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(21): 112-114.