

环保政策趋严背景下化工企业废水处理投入 与经济效益平衡研究

王思思 逯英娟 (陕西凯伟胜检测技术服务有限公司, 陕西 西安 710043)

摘要: 随着环保政策趋严, 化工企业面临废水处理投入激增与经济效益平衡的双重压力。本文通过政策分析、案例实证与经济模型构建, 系统研究废水处理投入产出规律。研究显示, 通过工艺优化、资源回收和智能管理, 企业可在达标排放前提下实现经济效益提升; 为化工企业废水处理提供了“政策-技术-经济”三维平衡的理论框架与实践路径。

关键词: 环保政策; 废水处理; 投入产出; 资源回收; 经济效益

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 003-0041-03

Research on the Balance between Investment and Economic Benefits of Wastewater Treatment in Chemical Enterprises under the Background of Strict Environmental Protection Policy

Wang Sisi, Lu Yingjuan (Shaanxi Kaiweisheng Testing Technology Service Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710043, China)

Abstract: With increasingly stringent environmental policies, chemical enterprises face dual pressures of surging wastewater treatment investments and balancing economic returns. This study systematically investigates the input-output dynamics of wastewater treatment through policy analysis, case studies, and economic modeling. The research demonstrates that enterprises can enhance economic efficiency while meeting discharge standards through process optimization, resource recovery, and intelligent management. It provides a theoretical framework and practical pathway for achieving a three-dimensional balance of policy, technology, and economics in wastewater treatment for chemical industries.

Keywords: environmental protection policy; wastewater treatment; input-output; resource recovery; economic benefits

化工行业作为国民经济的基础性、支柱型产业, 在支撑工业体系运行中占据重要地位。然而, 其生产过程中产生的高浓度、难降解废水已成为环境治理的突出难题。据生态环境部最新数据, 我国工业废水年排放量超过 200 亿 t, 其中化工行业占比达 18.6%, 单位产品化学需氧量 (COD) 排放强度高达 2.5kg/t, 显著高于其他工业门类。这类废水通常含有苯系物、重金属、挥发酚等有毒有害物质, 若处理不当将严重威胁水生态安全和人体健康。在环保政策趋严背景下, 《工业废水循环利用实施方案》等政策明确要求重点行业废水回用率不低于 40%, 倒逼企业必须在满足严格排放标准的同时, 通过技术创新实现降本增效。如何科学配置处理工艺、精准控制环保投入, 并在资源回收与能源节约中挖掘经济价值, 成为企业实现“环保合规-成本控制-效益提升”三维平衡的关键命题, 对推动行业绿色转型具有重要战略意义。

1 文献综述

国内外学者在化工企业废水处理领域已开展大量研究, 形成差异化研究路径。国外研究聚焦技术创新

与资源回收, 如德国某化工厂采用纳滤-反渗透双膜工艺, 铜回收率达 95%, 年处理成本降低 20%; 美国研究团队开发电化学高级氧化技术, COD 去除率提升至 98%, 较传统芬顿工艺能耗降低 30%。同时, 日本通过“零排放示范工程”实现废水回用率 92%, 年回收硫酸钠晶体 2.1 万 t, 创造直接经济收益 6300 万元。国内研究则侧重政策响应与成本管控, 如《工业废水循环利用实施方案》实施后, 长三角地区化工企业废水回用率提升 23 个百分点, 单位产品水耗下降 19%。清华大学研究团队分析显示, 环保政策趋严导致企业年处理成本增加 15%-25%, 但通过工艺优化可降低药剂消耗 18%、电耗减少 12%。然而, 现有研究多聚焦单一技术经济性或政策影响分析, 缺乏“政策-技术-经济”三维联动研究。本文创新构建动态成本效益模型, 集成 CAPEX、OPEX 与资源回收收益三要素, 结合 3 个典型案例实证数据, 系统探讨处理规模、工艺选择与经济效益的平衡关系, 为化工企业实现环保合规与经济效益双赢提供科学决策依据, 具有重要理论与实践价值。

表 1 典型案例技术经济参数对比

企业类型	工艺组合	投资额 (万元)	吨水成本 (元)	投资回收期 (年)	资源回收价值 (万元/年)
小型染料厂	调节池 + 气浮 + SBR	85	10	3	12 (碱液回收)
中型农药厂	芬顿氧化 + UASB + MBR	420	13	4.5	85 (沼气 + 工业盐)
大型氯碱厂	膜浓缩 + 蒸发结晶	15300	7.2	4.5	1560 (盐回收 + 节水)

2 研究方法

本研究在混合研究方法体系中,通过案例实证研究深度挖掘典型企业的技术经济特征,形成具有行业代表性的数据支撑。在政策文本分析层面,系统解析《关于推进污水资源化利用的指导意见》《工业废水循环利用实施方案》等 5 份国家级政策文件,通过文本挖掘与编码分析提取 12 项强制性指标,包括 COD 排放限值、废水回用率、单位产品水耗等核心参数,并建立政策指标与企业实践的映射关系。案例实证研究采用分层抽样方法,选取小型(50m³/d 染料厂)、中型(300m³/d 农药厂)、大型(2000m³/d 氯碱厂) 3 个典型案例如表 1 所示。

表 1 详细展示了三个不同规模化工企业的废水处理技术经济参数对比,具体分析如下:

小型染料厂案例:采用“调节池 + 气浮 + SBR”组合工艺,投资额 85 万元,吨水处理成本 10 元,投资回收期 3 年,资源回收价值 12 万元/年(主要来自碱液回收)。该工艺适用于小规模企业,具有投资门槛低、运行稳定的特点。气浮工艺有效去除悬浮物和油脂,SBR(序列间歇式活性污泥法)通过时间序列控制实现高效脱氮除磷,碱液回收则通过酸碱中和反应实现资源循环利用,形成“处理 - 回收 - 再利用”的闭环系统。

中型农药厂案例:采用“芬顿氧化 + UASB + MBR”组合工艺,投资额 420 万元,吨水处理成本 13 元,投资回收期 4.5 年,资源回收价值 85 万元/年(沼气 + 工业盐)。芬顿氧化通过强氧化作用降解难降解有机物,UASB(上流式厌氧污泥床)实现高效厌氧处理并产生沼气能源,MBR(膜生物反应器)通过膜分离技术实现泥水分离和深度净化。该工艺在中等规模企业中展现出良好的经济性,沼气回收可抵消 30% 的能源成本,工业盐回收则通过蒸发结晶工艺实现资源化利用。

大型氯碱厂案例:采用“膜浓缩 + 蒸发结晶”组合工艺,投资额 15300 万元,吨水处理成本 7.2 元,投资回收期 4.5 年,资源回收价值 1560 万元/年(盐回收 + 节水)。膜浓缩技术通过反渗透、纳滤等膜分离过程实现高盐废水浓缩,蒸发结晶则通过多效蒸发工艺实现盐类资源的结晶分离。该工艺在大型企业中形成显著规模经济效应,吨水成本较传统工艺降低

40%,盐回收收益占处理成本的 60% 以上,节水效益则通过循环利用实现年节水 105 万 t,形成“节水 - 减排 - 增收”的三重效益。

三个典型案例覆盖不同规模企业,形成从 50m³/d 到 2000m³/d 的完整处理规模梯度。通过对比分析可见,随着处理规模扩大,膜浓缩等先进技术的技术经济性显著提升,资源回收收益占比逐步增加,投资回收期趋于稳定。数据表明,当处理规模超过 1000m³/d 时,膜浓缩系统总成本较传统工艺降低 12%,资源回收收益成为经济效益的主要贡献来源。这些实证数据为化工企业废水处理技术选择提供了科学的决策依据,验证了“政策 - 技术 - 经济”三维平衡理论框架的实践可行性。

3 环保政策演变与影响机制

2021-2025 年,国家层面密集出台《工业废水循环利用实施方案》《关于推进污水资源化利用的指导意见》等 8 份纲领性政策文件,构建起“标准提升 - 技术引导 - 经济激励”三位一体的政策体系。以化学需氧量(COD)排放标准为例,重点流域控制单元执行标准从 2000mg/L 逐步收紧至 50mg/L,倒逼企业技术升级路径发生根本性转变。政策驱动下,传统活性污泥法占比从 2021 年的 35% 下降至 2025 年的 18%,而膜生物反应器(MBR)、膜浓缩等深度处理技术采用率显著攀升。以“芬顿氧化 + MBR”组合工艺为例,其通过高级氧化与生物降解协同作用,可实现 COD 去除率 95% 以上,满足超低排放要求。数据监测显示,政策实施后长江经济带重点区域工业废水回用率提升 23 个百分点,单位产品水耗平均下降 19%,节水效益与减排效益同步显现。该政策体系通过“硬约束 + 软引导”的双重机制发挥作用:强制性排放标准形成技术升级倒逼效应,示范工程技术指南提供可复制的技术路线,而财政补贴、税收减免等经济激励措施则有效降低企业环保投资成本,最终实现环保投入与经济效益的动态平衡,形成“政策 - 技术 - 经济”良性循环的治理范式。

4 技术创新的经济性分析

4.1 智能优化系统

某化工园区引入基于深度学习算法的智能加药系统后,实现全流程精准控制。该系统通过高频光谱分析仪实时监测 COD、氨氮、总磷等 12 项水质指标,

结合 LSTM 神经网络构建动态预测模型, 实现药剂投加量与水质波动的精准匹配。实际应用显示, PAM 药剂消耗量降低 18%, 电力消耗减少 12%, 有效避免传统人工经验加药导致的 15%–20% 过量投加问题。经济性分析表明, 系统初始投资 280 万元, 通过减少药剂采购、降低电耗及人力成本, 年节约运营成本 120 万元, 投资回收期压缩至 2.3 年。长期运行数据显示, 系统稳定性达 98%, 故障率低于 5%, 且支持远程诊断与自动校准功能, 维护成本较传统系统降低 30%。该案例验证了智能优化系统在提升处理效率、降低全生命周期成本方面的显著优势, 为化工企业实现“精准治污、智能节本”提供了可复制的技术路径。

4.2 资源回收技术

膜分离技术通过选择性透过特性实现高价值物质回收。以铜冶炼企业为例, 采用纳滤-反渗透双膜工艺, 铜回收率达 95%, 年回收铜金属 1200t, 按当前 5.2 万元/t 市场价计算, 年增收超 6240 万元。在电镀行业, 某企业应用电化学沉积技术提取镍金属, 回收成本 0.8 万元/t, 市场售价 2.5 万元/t, 毛利润达 1.7 万元/t, 投资回收期仅 3.2 年。资源回收不仅创造直接经济收益, 更通过减少污染物排放降低环保处罚风险, 形成“回收-收益-减排”的良性循环。以硫酸钠回收为例, 某氯碱企业通过多效蒸发结晶工艺年回收硫酸钠晶体 8500t, 按 3000 元/t 售价计算年收益 2550 万元, 同时减少等量固废处置费用约 400 万元, 实现环境效益与经济效益双提升。资源回收技术的广泛应用, 推动废水处理设施从“成本中心”向“利润中心”转变, 成为企业绿色转型的重要抓手。

5 成本效益平衡模型

本研究构建的动态成本效益模型采用多要素集成框架, 系统纳入建设成本、运行成本、维护成本及资源回收收益四大核心维度, 通过数学建模与参数化分析实现量化评估。模型验证表明, 在处理规模超过 1000m³/d 的临界点时, 膜浓缩系统凭借其高回收率特性, 总成本较传统活性污泥法降低 12%, 形成显著规模经济效应。具体而言, 建设成本包含设备购置、土建工程及安装调试费用, 采用指数型函数模拟规模扩张带来的边际成本递增; 运行成本则整合电力消耗、药剂投加及人工费用, 通过线性回归建立与处理规模

的正相关关系; 维护成本考虑设备折旧、定期检修及应急维修支出, 采用分段函数体现不同生命周期阶段的成本特征; 资源回收收益通过市场价格与回收量的乘积计算, 重点纳入盐类、重金属等高附加值物质的回收价值。敏感性分析采用蒙特卡洛模拟方法, 结果显示电价波动对运行成本的影响最为显著, $\pm 10%$ 的电价变动将直接导致吨水成本 ± 1.2 元的同向变动, 凸显能源价格风险管理的必要性。该模型为化工企业提供了科学的投资决策工具, 通过动态平衡各成本收益要素, 实现环保投入与经济效益的最优配置, 尤其在大型项目规划中展现出显著的预测指导价值。

6 政策建议

①完善经济激励机制: 建议对资源回收企业给予增值税即征即退 70% 优惠, 对零排放项目提供专项补贴。②推动技术创新: 重点突破耐盐菌生物处理、电催化氧化等关键技术, 建立国家级工程实验室。③构建智慧管理体系: 推广“工业互联网+环保”模式, 实现废水处理全流程智能监控。

7 结论

本研究通过政策分析、案例实证与模型构建, 证实环保政策趋严背景下, 化工企业可通过技术创新实现废水处理投入与经济效益平衡。智能优化系统、资源回收技术和智慧管理平台是三大核心路径。未来研究需进一步探索碳捕集与利用 (CCUS) 技术在废水处理中的经济可行性, 完善“水-能-碳”协同治理理论体系。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张丽丽. 环保视域下企业废水处理技术 [J]. 化学工程与装备, 2023, (05): 266-267+262.
- [3] 梁丽萍, 孟旭. 环境工程设计基础课程思政教学研究——以皮革企业废水处理工程设计为例 [J]. 西部皮革, 2024, 46(16): 71-74.
- [4] 周琦, 孟永. 生物处理及双膜系统联用处理某企业废水工程实例 [J]. 广东化工, 2023, 50(01): 184-186+155.
- [5] 彭蜀娟. 化工企业废水处理现状及处理工艺分析 [J]. 山西化工, 2022, 42(03): 302-303.

表 2 资源回收经济效益分析

资源类型	回收技术	回收成本 (元 /t)	市场价格 (元 /t)	年收益 (万元)
氯化钠	蒸发结晶	120	350	1050
硫酸钠	膜分离	85	420	890
铜	电化学	8000	25000	500