

石油化工污水处理工艺技术的应用与经济价值分析

刘 宇（中海油惠州石化有限公司，广东 惠州 516086）

摘要：随着石油化工行业的迅猛发展，污水处理成为了该领域不可忽视的重要环节。石油化工污水中含有大量有害物质，若未经处理直接排放，将对环境造成巨大危害。因此，石油化工污水处理工艺技术的应用显得尤为重要。本文深入探讨了石油化工污水处理工艺技术的应用情况，并对其经济价值进行了详细分析，重点阐述了常见的污水处理工艺技术。同时，从经济价值的角度对石油化工污水处理进行了评估。为石油化工行业实现可持续发展提供科学的决策依据和技术支持。

关键词：石油化工污水；处理工艺技术；经济价值

0 引言

石油化工产业在现代工业体系中占据着极为重要的地位，为交通、化工原料生产等众多领域提供不可或缺的产品。随着全球经济的发展，对石油化工产品的需求持续增长，这促使石油化工企业不断扩大生产规模。然而，石油化工生产过程中会产生大量的污水。这些污水含有复杂的污染物，如果未经有效处理就排放，会对环境造成严重的污染，进而影响生态平衡，危害人类健康。因此，研究石油化工污水处理工艺技术不仅具有环境保护的重要意义，还与经济价值密切相关，通过水资源的回收再利用，降低企业的用水成本，体现了污水处理工艺技术的经济价值。

1 石油化工污水处理工艺技术分析

1.1 物理处理法

①隔油工艺。通过隔油的方式，可以利用油与水的密度差异，使油漂浮在水面上，从而将其分离出来。这种方法操作相对简单，是处理含油污水的重要起始步骤。采用斜板隔油池与旋流分离器组合装置，针对含油废水特性实现三级分离。第一级通过重力沉降去除粒径 $> 150 \mu\text{m}$ 的浮油，第二级利用波纹板聚结技术处理分散油，第三级配备收油机实现油水高效分离，综合油类去除率达92%以上。该技术配套智能油层监测系统，可实时调节分离参数。

②气浮技术。向污水中注入微小气泡，气泡会附着在悬浮物上，使其浮力增大而浮到水面，进而达到去除悬浮物的目的。在处理石油化工污水时，对于那些不易自然沉降的细小颗粒和油滴等有很好的去除效果。引进溶气气浮（DAF）与纳米气泡气浮协同系统，通过压力溶气释放10–30 μm 微气泡，结合纳米气泡发生装置生成100nm级气泡群，对乳化油和胶体物质的捕获效率提升40%。系统集成自动加药模块，根据

水质波动智能调节破乳剂投加量。

③精密过滤体系。借助过滤介质，如砂滤、活性炭过滤等，对污水进行过滤。能够拦截污水中的固体颗粒，进一步提高污水的清澈度，去除一些微小的杂质，为后续的处理工序奠定良好基础。构建“多介质过滤器+活性炭吸附+超滤膜”三级过滤体系，其中双层滤料过滤器采用锰砂与无烟煤组合，截留精度达5 μm ；超滤膜组件选用PVDF材质，切割分子量10万道尔顿，可有效拦截0.01 μm 级微粒，保障出水SS $\leq 5\text{mg/L}$ 。

1.2 化学处理法

①混凝沉淀优化。向污水中加入混凝剂，混凝剂会使污水中的细小颗粒和胶体物质发生凝聚和絮凝作用，形成较大的絮体，然后通过沉淀作用，使这些絮体沉降到水底，从而去除污水中的悬浮物、部分有机物和重金属离子等。开发铁盐-有机高分子复合混凝体系，以聚合硫酸铁为主剂，复配两性离子型絮凝剂，形成致密絮体结构。通过管式混合器实现梯度搅拌，沉降速度较传统工艺提高2.3倍，重金属去除率超99%。

②高级氧化技术。利用氧化还原反应，可以将这些污染物转化为无害或易于处理的物质。例如，通过加入氧化剂可以将某些还原性的有害物质氧化分解。建立臭氧催化氧化-Fenton联用系统，设置三级反应区：臭氧/UV催化降解难生化有机物；类Fenton体系($\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2$)处理苯系物；过渡金属掺杂催化剂床层深度矿化，COD去除负荷达 $8\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，TOC削减率85%以上^[1]。

③中和系统。向污水中加入酸性或碱性物质，调节污水的pH值，使其达到适宜后续处理的范围，同时也可以在一定程度上去除酸性或碱性污染物。可以

配置双流体喷枪酸碱中和塔，集成 pH 在线反馈控制系统(精度 ± 0.1), 采用碳酸钠-硫酸双药剂储备体系，处理能力覆盖 pH1-13 的进水波动，中和反应时间缩短至 8 分钟，污泥产率降低 30%。

1.3 生物处理法

①好氧生物处理技术。好氧生物处理技术需要充足的氧气供应。在好氧条件下，微生物能够分解污水中的有机物，将其转化为二氧化碳、水和微生物自身的细胞物质等。常见的好氧生物处理工艺有活性污泥法和生物膜法等，在处理石油化工污水中的有机物方面有着广泛的应用。运行改良型 MBBR 工艺，投放 30% 填充率的聚乙烯悬浮填料，配套微孔曝气盘与溶解氧联动控制系统。在 MLSS 维持 3000mg/L 条件下，污泥龄延长至 25 天，氨氮去除负荷提升至 $0.6\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$ ，出水 TN $< 15\text{mg/L}$ 。

②厌氧生物处理。在无氧或缺氧的环境下，厌氧微生物对污水中的有机物进行分解。这种方法对于高浓度的有机污水具有较好的处理效果，并且在处理过程中还能产生沼气等有用的能源物质。建设 IC 反应器系统，设置双层三相分离器与沼气回循环装置，容积负荷达 $15\text{kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ ，甲烷产率 $0.35\text{m}^3/\text{kgCOD}$ 。配套沼气脱硫塔与余热锅炉，实现能源自给率 35% 以上。

1.4 组合处理工艺

①物理-化学组合。将物理处理法和化学处理法相结合，可以发挥两者的优势。先通过隔油和气浮等物理方法去除大部分油类和悬浮物，然后再采用混凝沉淀等化学方法进一步去除污水中的污染物，这样能够提高污水的处理效率和处理效果。针对高盐难降解废水，构建“电化学预处理-微波催化氧化-树脂吸附”组合工艺，其中三维电极反应器电流效率达 85%，微波反应塔设置钛基催化剂床层，特种树脂对特征污染物的吸附容量达 200mg/g ，综合处理成本较单一技术降低 40%。

②生物-化学组合。生物处理法和化学处理法的组合也是常用的工艺。在生物处理之前，利用化学处理法对污水进行预处理，如调节 pH 值、去除部分毒性物质等，可以改善污水的可生化性，提高生物处理的效果。而在生物处理之后，再采用化学方法进行深度处理，能够进一步去除剩余的污染物，使污水达到更高的排放标准。可以开发“水解酸化-MBR-臭氧催化”集成装置，水解池设置弹性填料强化大分子分解，平板膜组件通量稳定在 20LMH ，臭氧催化单元采

用负载型催化剂使 B/C 比从 0.3 提升至 0.6。系统抗冲击负荷能力达 $\pm 30\%$ ，满足 GB8978 特别排放限值。

2 污水处理工艺选择的影响因素

2.1 污水水质特征

①污水成分复杂性。石油化工污水通常包含高浓度的有机物、氨氮、硫化物和重金属等污染物。污水中的有机物按照毒性和可生化性可分为几类，不同类别的有机物需要采取不同的处理方法。无毒且可生化性好的有机物可以通过常规的好氧生物处理去除，而有毒且难降解的有机物则需要先进行厌氧处理或其他高级氧化预处理，以提高其可生化性。

②硫化物和氨氮含量。高浓度的硫化物和氨氮不仅对环境有害，还会影响后续生物处理的效果。例如，高浓度的氨氮会对硝化细菌产生抑制作用，影响氮的去除效果。因此，选择适当的物化预处理或高级氧化技术来降低这些污染物的浓度至关重要。③污水中的金属离子。污水中的金属离子，如铁、锰等，也可能对某些生物处理工艺产生毒性效应，抑制微生物的活性。在选择处理工艺时，需要评估这些金属离子的存在对生物处理的潜在影响，并决定是否需要进行预处理去除或固定化处理。

2.2 技术和经济可行性

不同的污水处理工艺在初期投资和运行成本上有很大差异。例如，高级氧化技术虽然处理效果好，但初期投资和运行成本较高，适合资金充裕的企业，而传统的活性污泥法则相对经济，但占地面积较大，适合土地资源丰富的企业。一些先进的处理技术虽然处理效果好，但也可能带来更高的运行维护复杂性，需要专业人员进行操作和维护。企业在选择工艺时，要考虑自身的技术能力和管理水平，以确保所选工艺能够稳定运行^[2]。

3 污水处理工艺优化策略

3.1 工艺组合优化

①合理搭配处理工艺。根据污水的水质特点，合理搭配预处理、主体处理和深度处理工艺。对于含大量浮油的污水，可先采用重力隔油池进行初步分离，去除大部分浮油后，再利用气浮工艺进一步去除乳化油，后续衔接生物处理或膜处理工艺深度降解有机物和去除残余油类。

②注重不同工艺间的协同作用。如将化学絮凝与生物处理相结合，絮凝剂可快速絮凝沉淀部分污染物，减轻生物处理的负荷，生物处理则能进一步分解絮凝剂难以去除的有机污染物，提高整体处理效率。

3.2 新技术研发与应用

①开发高效的破乳剂。新型破乳剂应具备针对性强、破乳速度快、用量少且环境友好等特点，能够在复杂的污水环境中迅速破坏乳化油的稳定结构，提高油珠的聚并和分离效率。

②膜技术的创新应用。研发抗污染性能强、通量高的新型膜材料，如有机-无机杂化膜，可有效解决传统膜分离过程中的膜污染问题，提高膜的使用寿命和处理效率。此外，高级氧化技术的发展，能够产生强氧化性的自由基，快速降解石油污水中的难降解有机物，将大分子有机物分解为小分子物质，便于后续工艺进一步处理，提升整体处理效果。

3.3 提高能源和资源利用效率

使用变频驱动（VFD）匹配泵和鼓风机的速度与处理需求，减少不必要的能量消耗。通过精确控制，使设备运行在最佳状态，延长设备寿命，降低维护成本。采用太阳能、风能等可再生能源供电，减少对化石燃料的依赖，降低运行成本，提高能源自给率。

3.4 定期维护和检修

实施定期检查和维护计划，及时发现并修复设备故障，防止小问题演变成大故障。通过维护记录和数据分析，优化设备维护周期，提高设备运行效率。定期评估设备性能，及时淘汰和更换老旧设备，引进新型高效设备，提高处理效率和可靠性。

4 污水处理的经济价值分析

4.1 成本效益分析

①建设投资成本。在特定的石化企业中，建设石油化工污水处理设施需要投入大量的资金。这包括土地购置、设备采购、工程建设等方面。处理设施的选址需要考虑到与生产区域的合理布局，以确保污水能够高效地被收集和处理。设备的选型也至关重要，要根据污水的成分、流量等因素选择合适的处理设备，这些设备的采购成本可能会因技术的先进性和规模的大小而有所不同。工程建设涉及到土木工程、管道铺设等多个环节，都需要耗费大量资金。

②运行维护成本。污水的处理不是一次性的工作，而是一个长期的过程，需要持续投入运行维护成本。这其中包括设备的日常巡检、维修，以及化学药剂的添加等费用。专业的技术人员需要定期对处理设备进行检查，确保设备正常运行，一旦发现设备故障，就要及时维修，这可能涉及到更换零部件等成本。

③节约的排污费用。对于石化企业来说，如果没

有有效的污水处理措施，将会面临高额的排污费用。而通过完善的污水处理系统，企业可以将污水中的污染物含量降低到符合排放标准的水平，从而避免了因超标排污而产生的巨额罚款。实际上是一种间接的成本节约，并且随着环保法规的日益严格，这种节约的排污费用将会越来越可观。

4.2 资源回收利用的经济效益

①回收有用物质。某些重金属离子或者有机化合物通过特殊的处理工艺，可以将这些物质从污水中分离出来，经过提纯和加工后，可以重新投入到生产过程中或者作为其他产品的原料。这不仅减少了资源的浪费，还为企业创造了额外的经济效益。

②中水回用。石化企业的生产过程中需要大量的水资源，而经过处理后的石油化工污水可以达到中水回用的标准。将这些中水回用到一些对水质要求不是特别高的生产环节，可以大大减少企业对新鲜水资源的依赖。企业在购买水资源方面的支出会显著降低，同时也减轻了当地水资源供应的压力，是一种双赢的举措。

4.3 环境保护带来的间接经济价值

①减少环境损害赔偿。石化企业的生产活动如果对环境造成了损害，就可能面临环境损害赔偿的风险。有效的石油化工污水处理措施可以减少污水对周围环境的污染，避免因环境损害而引发的法律纠纷和赔偿责任，保护企业的经济利益。

②提升企业形象。通过积极有效的石油化工污水处理，企业向社会展示了其对环境保护的重视，这有助于提升企业在公众心目中的形象。良好的企业形象可以吸引更多的投资者、客户和合作伙伴，从而为企业带来更多的商业机会和经济效益。

5 结论

石油化工污水处理工艺技术的应用与经济价值密不可分。企业应根据自身实际情况，选择适合的污水处理工艺，并不断优化处理流程，提高处理效率。此外，政府和社会各界也应加大对石油化工污水处理技术的研发和推广力度，共同推动石油化工行业的绿色发展。只有这样，才能实现经济效益与环境效益的双赢，为可持续发展贡献力量。

参考文献：

- [1] 贾朋宾. 节能减排理念下的石油化工污水处理策略 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(22): 104-106.
- [2] 王雪清, 郭宏山, 邢心语. 石油化工园区污水治理技术与对策研究 [J]. 工业水处理, 2023(11): 7-14.