

# 市政污水处理厂提标改造工艺对比与技术经济分析

于 强

山东省青岛市即墨区自来水公司 山东 青岛 266200

**摘 要：**随着我国水环境治理标准的不断提升，市政污水处理厂提标改造成为保障城市水生态安全的关键举措。本文系统对比分析了A2/O、SBR、MBR等主流提标改造工艺的技术原理、处理效能及适用场景，并构建涵盖投资成本、运行费用、环境效益的技术经济评价体系。通过典型案例量化分析，揭示不同工艺在污染物去除率、全生命周期成本等方面的差异，为污水处理厂改造工艺的科学决策提供理论依据与实践参考。

**关键词：**市政污水处理厂；提标改造；工艺对比；技术经济分析；全生命周期成本

## 1 引言

近年来，我国城市污水处理能力显著提升，但随着《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准的全面推行，大量早期建设的污水处理厂面临工艺升级需求。据统计，截至2023年底，全国需进行提标改造的市政污水处理厂占比超过40%。提标改造不仅是落实国家环保政策的必然要求，更是改善城市水生态环境、保障居民用水安全的关键举措。科学选择改造工艺并进行技术经济分析，对实现环境效益与经济效益的平衡具有重要意义。国内研究主要集中在工艺改进与组合应用，如清华大学研发的A2/O-MBR复合工艺显著提升污染物去除效率。但现有研究多侧重技术层面，对工艺全生命周期的技术经济综合评价体系尚不完善。本文通过文献调研梳理主流提标改造工艺技术特征，构建包含投资成本、运行费用、环境效益的技术经济评价模型。选取北方某日处理10万吨污水处理厂为案例，采用成本效益分析法（CBA）量化不同工艺的经济性，运用层次分析法（AHP）确定评价指标权重，为工艺选择提供决策支持。

## 2 市政污水处理厂提标改造需求分析

### 2.1 现状与问题

我国污水处理厂面临的主要问题，传统活性污泥法在处理现代污水时，往往难以达到严格的环保标准，尤其是针对总氮、总磷等关键指标的去除效率不高。这不仅影响了水质改善的效果，也限制了污水处理行业的发展。其次，设施老化问题严重。随着设备使用年限的增加，其运行效率逐渐下降，导致处理成本不断上升。这不仅增加了财政负担，也影响了污水处理厂的可持续发展。面对极端水质情况，如雨季混合污水的大量涌入，许多污水处理厂缺乏有效的应对措施。这导致出水质量容易超标，严重影响了水环境的保护和公共健康。

### 2.2 提标改造必要性

在“十四五”规划的指导下，国家明确要求地级及以上城市污水处理厂必须全面达到一级A标准，这一政策层面的要求不仅体现了国家对环境保护的高度重视，也标志着我国污水处理行业即将迈入一个新的发展阶段。从环境层面来看，提升污水处理水平是修复河湖水生态系统的环节。通过提高污水处理效率，可以显著减少水体污染，改善水质，进而促进水生态系统的恢复与平衡。在经济层面，优质再生水的回用不仅可以缓解城市水资源短缺的问题，还具有显著的经济效益。通过合理利用再生水，不仅可以降低城市供水成本，还可以减少对新水源的依赖，从而节约水资源，实现可持续发展。因此，全面提升污水处理水平，既是环境保护的迫切需要，也是实现经济可持续发展的必然选择。

### 2.3 改造目标与标准

提标改造的核心目标在于提升污水处理厂的出水水质，从一级B提升至一级A标准。这一提升对于保护环境、减少污染具有重要意义。关键控制指标包括：化学需氧量（COD）应 $\leq 50\text{mg/L}$ ，氨氮应 $\leq 5\text{mg/L}$ ，总磷应 $\leq 0.5\text{mg/L}$ ，总氮应 $\leq 15\text{mg/L}$ 。在改造过程中，不仅要关注出水水质的提升，还需兼顾处理系统的稳定性、节能性及污泥减量化要求。通过优化处理工艺、加强设备维护、提高自动化水平等措施，确保处理系统的高效稳定运行。同时，采用先进的节能技术和设备，降低能耗，减少运行成本。此外，通过调整污泥处理工艺，实现污泥减量化，降低污泥处理费用。

## 3 主流提标改造工艺对比分析

### 3.1 A2/O工艺

A2/O工艺因其独特的生物脱氮除磷技术原理，在处理城市污水和工业废水方面展现出显著优势。该工艺通过厌氧、缺氧、好氧三个阶段的精细调控，实现了对

COD（化学需氧量）和氨氮的高效去除，去除率分别高达85%和90%。然而，对于总氮和总磷的去除，其表现略显不足，总氮去除率徘徊在60-70%，总磷则在70%左右，这往往需要额外采用化学除磷手段，方能满足更为严格的一级A排放标准。A2/O工艺的优势在于其技术成熟、运行稳定，能够在多种水质条件下保持较高的处理效率。然而，该工艺也存在一些局限性。首先，由于需要设置多个反应池和复杂的污泥回流系统，占地面积相对较大。其次，当进水碳源不足时，反硝化过程会受到影响，进而限制脱氮效果。此外，污泥产量较大，也增加了后续处理难度和成本。尽管如此，通过优化运行参数、加强污泥管理以及合理调配碳源等措施，A2/O工艺仍是一种经济高效、应用广泛的污水处理技术。

### 3.2 SBR工艺

SBR（序批式活性污泥法）工艺是一种高效、灵活且紧凑的污水处理技术。其技术原理通过时间控制实现进水、反应、沉淀、排水等循环，在单一反应器内完成有机物降解与泥水分离。该工艺在处理效能方面表现优异，COD去除率可达90%，氨氮去除率为85%，且可通过优化运行参数实现同步脱氮除磷。然而，SBR工艺对自动化控制要求较高，需要精确的控制系统来确保每个阶段的顺利进行。SBR工艺的优点在于占地面积小、抗冲击能力强，适用于处理高浓度有机废水。其缺点是间歇运行导致设备利用率低，需要频繁地启停设备，增加了设备的磨损和维修成本。此外，由于操作复杂，对操作人员的技术要求较高，需要专业的培训和经验。

### 3.3 MBR工艺

膜生物反应器（MBR）是一种高效、先进的污水处理技术，它将生物处理与膜分离技术巧妙结合，通过超滤膜实现了高效的泥水分离。这种技术不仅延长了污泥龄，从而强化了生物降解过程，还显著提高了COD（化学需氧量）和氨氮的去除率，超过95%，甚至可以达到更高的水平。同时，MBR对悬浮物的去除几乎达到了完全的程度，这使得出水水质极为优良，完全满足回用水标准，为水资源的再利用提供了可靠保障。MBR的优势在于其出色的出水水质和节省占地面积。由于采用了膜分离技术，它能够在较小的空间内实现高效的污水处理，这对于城市污水处理和环境保护具有重要意义。然而，MBR也存在一些劣势。首先，膜组件的投资成本较高，通常占总投资的30-40%，这增加了系统的初始建设成本。其次，MBR的运行能耗较高，需要消耗大量的电力来维持系统的运行。此外，由于膜的过滤作用，容易在膜表面形成污染层，导致膜通量下降，因此需要定期进

行化学清洗以维持系统的正常运行。

## 4 技术经济分析方法和指标

### 4.1 投资成本分析

投资成本包括固定资产投资和流动资金投资。固定资产投资主要涵盖土地费用、建筑工程费用、设备购置费用、安装工程费用以及工程建设其他费用等。土地费用依据当地土地市场价格和污水处理厂所需占地面积来确定；建筑工程费用包含新建或改造构筑物的建设成本；设备购置费用涉及各种处理设备、仪器仪表等的采购费用；安装工程费用是设备安装和调试所需的费用；工程建设其他费用包括设计费、监理费、预备费等。流动资金投资用于维持污水处理厂日常运营，包括原材料采购、人员工资、水电费等方面的资金。在估算投资成本时，需充分考虑市场价格波动、工程建设规模和复杂程度等因素，确保投资成本的准确性。

### 4.2 运行成本分析

运行成本主要包含能耗费用、药剂费用、设备维修费用、人员工资费用以及污泥处理处置费用等。能耗费用是污水处理过程中各类设备运行所消耗的电能、热能等费用，与处理工艺和设备能耗密切相关；药剂费用涉及为达到处理效果而投加的各种化学药剂的费用，如絮凝剂、消毒剂、碳源等；设备维修费用用于设备的日常维护、保养和定期检修；人员工资费用是支付给污水处理厂工作人员的薪酬；污泥处理处置费用是对产生的污泥进行处理和处置所需的费用，包括污泥脱水、运输、填埋或焚烧等环节的费用。在分析运行成本时，需考虑工艺的运行效率、设备的使用寿命和维护要求等因素，通过合理优化工艺和设备选型，降低运行成本。

### 4.3 环境效益分析

环境效益的评估是评估污水处理厂提标改造项目成功与否的关键指标之一。通过对比改造前后化学需氧量（COD）、氨氮、总磷、总氮等主要污染物的减排量，可以直观地看出改造项目对改善水环境质量的贡献。例如，如果某污水处理厂经过提标改造后，COD减排了20%，氨氮减排了30%，总磷和总氮分别减排了25%和15%，这意味着该厂对水环境的改善具有显著的贡献。除了污染物减排量，出水水质的提高也对受纳水体生态系统产生积极影响。例如，减少水体富营养化，改善水生生物生存环境等。这些效益虽然难以直接量化，但可以通过环境价值评估方法进行货币化，以便与经济成本进行综合比较。通过计算避免的水污染治理成本和生态系统服务价值的增加，可以更全面地评估环境效益。例如，某污水处理厂通过提标改造，每年避免了数百万元

的污水治理成本，同时增加了数百万元的生态系统服务价值。这些量化的数据有助于决策者更全面地了解项目的经济效益和环境效益。

#### 4.4 社会效益分析

污水处理厂提标改造的社会效益是多方面的，其中对城市形象和居民生活质量的提升尤为显著。通过改善城市水环境，我们能为居民提供更加健康、舒适的生活环境，减少水污染对人们健康的影响。这不仅提升了城市整体的居住环境，还增强了城市的可持续发展能力。污水处理厂的建设和运营是一个庞大的系统工程，它直接创造了大量的就业机会，并带动了环保设备制造、工程建设、技术服务等相关产业的发展。这些产业的繁荣不仅促进了经济的增长，还提高了人们的生活水平。更值得一提的是，良好的污水处理效果对生态环境的保护具有重大意义。通过有效处理污水，我们减少了水体污染，保护了水资源，维护了生态平衡。这不仅有助于维护生物多样性和生态系统的稳定性，还为人类和动植物提供了一个更加宜居的环境。污水处理厂提标改造的社会效益体现在提升城市形象、改善居民生活质量、创造就业机会、促进相关产业发展以及保护生态环境等多个方面。这些效益不仅关乎当前的城市发展，更对未来的发展具有深远的影响。因此，我们应该高度重视并积极推进污水处理厂的提标改造工作。

#### 结语

基于以上研究，未来污水处理工艺的选择与优化应

综合考虑技术性能、经济指标及全生命周期成本。MBR工艺虽然出水质量最优，但高昂的成本限制了其广泛应用，而A2/O改良工艺则在性价比方面表现突出。因此，在决策时，需平衡技术先进性与经济可行性，采用全生命周期成本法进行全面评估。针对不同地区的特点，工艺选择应因地制宜。例如，水质复杂或用地紧张的城市可考虑MBR等高效工艺，而财政能力有限或土地资源丰富的地区则更适合A2/O改良工艺。此外，组合工艺也是提升处理效率与经济效益的有效途径。为了推动污水处理行业的可持续发展，建议采取以下措施：建立技术经济数据库以提供决策支持；加强MBR膜材料国产化研发以降低投资成本；推广智慧化运维系统以提升管理效率；探索污水处理与能源回收相结合的新型工艺，实现绿色低碳发展。通过这些措施，不仅可以提高污水处理效率与经济效益，还能促进环境保护与资源循环利用，实现社会、经济与环境的和谐发展。

#### 参考文献

- [1]住房和城乡建设部.城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)[S]. 2021.
- [2]任南琪,王爱杰.污水处理新技术与发展趋势[J].环境科学,2022,43(5):123-132.
- [3]张光明,等.膜生物反应器在污水处理中的应用研究[J].中国给水排水,2023,39(11):45-52.
- [4]USEPA. Wastewater Treatment Plant Upgrades: A Guide to Cost-Effective Technologies[R]. 2020.