

城市生活污水处理技术优化研究

柳少兴 130132199801203817

河北程睿环保集团有限公司石家庄分公司

摘要：随着我国城镇化进程的持续推进，城市人口规模不断扩张，生活污水排放量逐年增长，现有污水处理技术在出水水质、运行成本、能源消耗等方面逐渐暴露出诸多不足，无法满足日益严格的水环境排放标准和生态文明建设要求。本文首先阐述了城市生活污水处理的现实意义与当前行业发展现状，其次分析了我国主流污水处理技术应用过程中存在的问题，最后从工艺组合、智能管控、资源回收三个维度提出技术优化路径，为提升城市污水处理效率、推动污水处理行业绿色转型提供参考。

关键词：城市生活污水；污水处理；技术优化；水环境治理

一、城市生活污水处理的发展现状与现实意义

近年来，我国城镇化率以年均 1 个百分点以上的速度增长，截至 2023 年末，全国城镇常住人口占比已经超过 66%，城市生活污水年排放量突破 600 亿立方米。为应对水污染问题，我国陆续出台《水污染防治行动计划》《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》等政策文件，要求城镇污水处理厂出水水质基本达到一级 A 排放标准，缺水地区推动污水处理再生利用，构建“污水收集-处理-资源化”的完整体系。在政策推动下，我国城市污水处理厂数量从 2010 年的 2400 余座增长至 2023 年的近 7000 座，污水处理总能力超过 2.2 亿立方米/日，基本实现了城市建成区污水处理设施全覆盖。

城市生活污水处理是城市水环境治理的核心环节，其现实意义主要体现在三个层面：第一，保护城市水生态环境，未经处理的生活污水直接排入自然水体，会引发水体富营养化、黑臭等问题，威胁流域水生态安全，高效污水处理可以削减污水中的有机物、氮磷污染物，改善城市水环境质量；第二，保障居民健康生活，生活污水中含有大量病原菌、寄生虫卵以及各类污染物，未经有效处理会污染土壤和地下水，直接威胁城市居民的身体健康，完善的污水处理体系可以阻断污染物传播路径；第三，推动水资源循环利用，我国 60% 以上的城市存在缺水问题，将处理达标后的生活污水再生用于市政绿化、工业生产、城市杂用，能够有效缓解城市水资源供需矛盾，实现水资源的可持续利用。

二、当前城市生活污水处理技术应用存在的问题

（一）传统工艺脱氮除磷效果不稳定

我国多数城市污水处理厂采用传统活性污泥法、A2/O 工艺作为核心处理技术，这类工艺对有机物的去除效率较高，但在脱氮除磷环节存在天然的技术矛盾：脱氮过程需要较长的污泥龄，足够的碳源供给硝化反硝化反应，而除磷过程需要较短的污泥龄，依赖聚磷菌在厌氧环境下释磷、好氧环境下吸磷，两类微生物的生存环境需求存在冲突，且生活污水中碳源不足的问题普遍存在，导致脱氮除磷效率不稳定，出水总氮、总磷含量容易出现超标，无法满足一级 A 排放标准的要求。部分北方城市冬季水温较低，微生物活性下降，进一步降低了脱氮除磷的效果，出水水质达标压力较大。

（二）运行成本与能源消耗偏高

传统污水处理工艺需要持续曝气供氧，曝气环节的能源消耗占污水处理厂总能耗的 50%以上，部分工艺为了强化脱氮除磷效果，额外增加曝气池容积或投入外加碳源，进一步推高了运行成本和能源消耗。数据显示，我国城市污水处理单位电耗平均在 0.2-0.3 千瓦时/立方米，远高于发达国家的平均水平，同时污泥处理处置成本占污水处理总成本的比例超过 40%，多数污水处理厂面临较大的成本压力，部分中小城市甚至因为运行成本过高，出现污水处理设施空载运行的情况。

（三）智能化管控水平较低

当前多数城市污水处理厂的运行管控依赖人工经验，进水水质、水量会随着居民生活习惯、季节变化出现较大波动，但工艺参数调整往往滞后，无法根据进水水质变化实时调整曝气强度、污泥回流量、碳源投加量，要么造成能源浪费，要么导致处理效果下降。部分污水处理厂虽然安装了在线监测设备，但设备数据整合度较低，无法实现全流程的智能调控，设备故障预警不及时，经常出现非计划停机，影响污水处理系统的稳定运行。

三、城市生活污水处理技术的优化路径

（一）工艺组合优化，强化处理效果

针对传统工艺脱氮除磷效果不稳定的问题，可通过工艺组合优化的方式进行改造：在原有的生化处理环节之前增设生物预处理单元，采用水解酸化工艺提高

污水的可生化性，将复杂有机物分解为小分子有机物，补充脱氮除磷所需的碳源，解决碳源不足的问题。对于土地资源相对充足的城市，可以采用“生化处理+人工湿地”组合工艺，利用人工湿地的生态净化作用进一步去除尾水中的氮磷污染物，不仅能够提升出水水质，还可以降低运行成本，美化城市环境。对于用地紧张的老城区污水处理厂，可以采用 MBR 膜生物反应器替代传统的二沉池，MBR 工艺的污泥停留时间长，能够富集硝化细菌，强化脱氮效果，出水水质稳定达到一级 A 排放标准，同时还可以减少污水处理厂的占地面积，适应老城区土地资源紧张的现状。

（二）推进节能改造，降低运行成本

降低运行成本与能源消耗是技术优化的核心方向之一，首先可对曝气系统进行节能改造，采用微孔曝气器替代传统的曝气装置，提高氧转移效率，根据不同河段的需氧量安装变频曝气设备，实现按需供氧，可降低曝气环节能耗 20%以上。其次，优化碳源投加方式，通过在线监测进水碳氮比，精准控制外加碳源的投加量，避免碳源浪费，同时可以将初沉池污泥发酵产生的挥发性脂肪酸作为内源性碳源，替代外购的乙酸钠等碳源，能够降低碳源成本 50%以上。

（三）构建智能管控系统，提升运行稳定性

依托物联网、大数据技术构建城市污水处理智能管控系统，对进水水质水量、曝气池溶解氧、出水水质、设备运行状态等数据进行实时采集，通过人工智能算法预测进水水质水量的变化趋势，自动调整工艺运行参数，实现污水处理全流程的动态调控，既能够保证出水水质稳定，又能够减少不必要的能源消耗。此外，智能管控系统还可以对核心设备的运行状态进行实时监测，通过故障预警算法提前识别设备异常，安排预防性维护，减少非计划停机的概率，提升污水处理系统的运行稳定性。

四、结语

城市生活污水处理是城市生态文明建设的重要组成部分，面对日益增长的污水处理需求和严格的排放标准，对现有污水处理技术进行优化升级，是当前污水处理行业发展的必然趋势。通过工艺组合优化强化处理效果，通过节能改造降低运行成本，通过智能管控提升运行稳定性，推动污水处理的资源化转型，能够有效提升城市污水处理的整体水平，推动行业绿色可持续发展，为改善城市水环境质量、缓解水资源压力提供技术支撑。

参考文献

- [1] 张自杰. 排水工程(下册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] 王凯军, 王新华. 城市污水处理技术发展展望[J]. 环境科学, 2021, 42(02): 581-592.
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国住房和城乡建设部. “十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划[R]. 2021.