城市污水处理厂升级改造的技术路径分析

颜 宾

中建三局集团有限公司 山东聊城

【摘要】随着城市化进程的加快与生态环境保护要求的提升，城市污水处理厂面临处理能力与排放标准双重压力。技术路径升级成为实现达标排放与资源化利用的关键方向，通过分析主流升级改造技术，包括提标改造、深度处理与污泥协同处置，结合工艺流程优化与智能化管理手段，探讨技术选择的适应性与实施路径。研究结果显示，多元协同、绿色高效的技术组合有助于实现低碳、可持续的污水处理系统，提升城市水环境质量与系统运行效能。

【关键词】污水处理厂；升级改造；技术路径；深度处理；智能运维

【收稿日期】2025 年 2 月 23 日 【出刊日期】2025 年 3 月 26 日 【DOI】10.12208/j.jer.20250090

Technical path analysis for the upgrading and renovation of urban wastewater treatment plants

Bin Yan

China Construction Third Engineering Bureau Group Co., Ltd. Liaocheng, Shandong

【**Abstract**】With the acceleration of urbanization and the enhancement of ecological and environmental protection requirements, urban wastewater treatment plants are facing dual pressures from treatment capacity and discharge standards. Upgrading technological paths has become a key direction for achieving standard discharge and resource utilization. By analyzing mainstream upgrading and renovation technologies, including standards improvement, advanced treatment, and sludge collaborative disposal, combined with process flow optimization and intelligent management measures, this study explores the adaptability of technology selection and implementation paths. The research results indicate that a diverse, synergistic, and greenly efficient technology combination helps achieve a low-carbon, sustainable wastewater treatment system, enhancing the urban water environment quality and system operational efficiency.

【**Keywords**】Wastewater treatment plant; Upgrading and renovation; Technical path; Advanced treatment; Intelligent operation and maintenance

引言

在“双碳”战略与生态文明建设背景下，城市污水处理厂的升级改造成为实现水污染治理目标的重要抓手。当前面临处理工艺落后、排放标准趋严、运行成本增加等多重挑战，传统处理方式难以满足新阶段发展需求。推动处理技术集成创新与系统优化，构建绿色、智能、高效的污水处理体系，成为提升城市基础设施适应性与韧性的核心路径，分析升级技术路径的选择依据与实施策略，具有重要的现实意义与实践价值。

1 城市污水处理厂升级改造的驱动因素与技术需求

城市污水处理厂的升级改造受多种内外部因素的推动，主要体现在环境政策趋严、城市化水平提高、水资源紧张和公众环保意识增强等方面。在政策层面，《城镇污水处理及资源化利用“十四五”规划》等文件明确提出污水处理厂提标扩容、系统节能降碳的要求，推动处理厂在达标排放基础上实现资源循环与系统协同[1]。在城市快速发展背景下，原有污水处理设施承载能力不足，水量波动性加剧，传统处理模式难以保障稳定出水水质，对设施系统的负荷调节能力、抗冲击负荷能力提出更高要求。

地表水环境质量考核压力使得出水标准从一级 A 向更高等级转变，倒逼污水处理工艺从常规生化处理向多级强化脱氮除磷、深度净化转型。与此受水资源紧

作者简介：颜宾（1992）男，汉，山东聊城，一级建造师建筑师，本科，研究方向伟建筑类市政公用工程。

张与城市再生水利用需求推动，污水资源化回用成为重点发展方向，对水质稳定性、出水安全性和运行经济性提出更高标准。在此背景下，污水处理厂升级不仅要满足环保合规要求，还需兼顾能效控制、资源产出与智慧管理等多元化目标[2]。从技术需求角度看，升级改造工程必须具备良好的适应性、集成性和扩展性，具体表现为工艺系统需适应不同水质水量波动，具备高效脱氮除磷能力，能通过模块化集成扩展功能单元以满足未来发展需求。在处理单元选择上，要求采用生物处理、物化处理与膜技术等多种手段协同耦合，满足对氮磷削减、微污染物控制及水体生态敏感性区域保护的实际需求，运行管理技术需向自动化、数字化、智能化方向演进，以实现运行能耗优化、故障风险预警与全流程动态调控，提高系统稳定性与经济性。

当前城市污水处理厂的升级改造已不再局限于处理能力的扩充和排放标准的达标，而是向着系统集成优化、资源循环利用与智慧管理协同推进[3]。随着环保政策趋严、水资源约束加剧以及碳排放控制目标的提出，污水处理系统必须实现技术路径的精准匹配与工程模式的智能转型，通过引入高效节能工艺、低碳运行模式与智能运维系统，构建绿色、安全、高效的处理体系，推动污水处理由末端治理向全过程优化演化，实现生态效益、经济效益与社会效益的统一。

2 主流污水处理提标与深度处理技术路径分析

在污水处理厂升级改造过程中，提标改造与深度处理是实现出水水质提升的核心环节，直接决定着改造后的系统处理能力与水环境适应性[3]。目前广泛应用的提标技术主要包括多级生物脱氮系统、增强型除磷工艺、膜分离技术及各类深度处理工艺，具体路径依据目标水质标准、现有基础设施条件与运行成本控制需求进行优化组合。

多级 A^2/O 工艺、氧化沟改良系统和序批式活性污泥法（SBR）等构成了常规提标改造的核心生物单元，通过优化污泥龄、溶氧浓度和碳源分布，提升脱氮除磷效果。对于氮、磷污染控制要求更高的地区，常需引入反硝化滤池、反硝化深床滤池等物化补强单元，进一步提升出水 TN 与 TP 去除率。部分厂区为节省空间和施工周期，采用 MBBR、生物滤池等模块化生物处理单元，以增强系统的灵活性和抗冲击能力[4]。在深度处理环节，混凝沉淀、砂滤、活性炭吸附、臭氧氧化和膜分离技术（如 MBR、NF、RO）被广泛应用，用于去除常规生物处理难以削减的微污染物、色度和细菌病毒等。MBR 技术作为集成度高、出水水质优的典型代表，在城市回用水与高标准排放项目中应用比例逐年上升，其能够实现固液分离和高效污染物截留，便于后续资源化利用或生态补水。

在技术路径选择过程中，成本效益比、运行管理便捷性与技术适应性成为重要评估指标，处理厂往往采用“生物强化+物化处理+智能监控”三位一体模式，形成灵活、高效、可调节的升级体系。为兼顾能源控制与碳排放管理，低碳工艺路径逐渐受到重视，厌氧氨氧化（Anammox）、短程硝化反硝化（SHARON-DN）等新型节能技术进入部分试点工程，推动污水处理向低碳方向转型[5]。深度处理技术的集成应用不仅提升了污水出水水质的稳定性与安全性，也为后续回用、生态补水和资源再生提供了工艺保障，通过对不同技术路径的系统分析与优化组合，污水处理厂在升级过程中能够构建起多目标协同的处理体系，兼顾环境保护与资源效益的双重价值。

3 污泥处置与资源化利用在改造中的协同路径

城市污水处理过程产生大量剩余污泥，其稳定化、减量化与资源化处理成为污水厂升级改造过程中不可或缺的一部分。传统污泥处理方式普遍存在能耗高、异味污染严重、处理效果不稳定等问题，在生态环保与低碳发展的要求下，污泥处置需向绿色高效、系统协同方向转型，以提升整体处理厂运行水平。

在污泥预处理阶段，调理与浓缩环节常采用机械脱水、高分子絮凝与加热消化等手段，提高污泥固含率，降低后续处理能耗与运输负担。厌氧消化作为主流稳定化技术，通过微生物代谢作用将有机质转化为沼气，不仅可减量 60%以上，还可回收能源，实现能源循环利用[6]。新型热水解、湿式氧化与热化学炭化等前处理工艺逐步在工程中应用，能够改善污泥可消化性与脱水性能，提升厌氧消化效率与沼气产量。污泥的资源化利用成为处理厂系统协同优化的关键方向。经过稳定化处理后的污泥可用于土地利用、建筑材料制备、生物能源转化等多种路径。其中，污泥制肥通过调控重金属与病原微生物含量，使其符合农用标准；污泥制砖、制陶粒可利用其高含硅、铝组分，实现废物资源转化；污泥焚烧与热电联产可实现能源回收与灰渣利用的双重效益。在这些路径中，污泥减容与污染控制能力、能效水平与资源利用率成为关键评价维度。

随着污泥处理技术向资源化、能源化方向演进，处理厂开始构建污水污泥一体化协同系统，推进工艺耦合与能源系统联动，沼气可用于厂区供热供电，污泥焚烧余热可与消化系统结合形成热能回收网络，为提升

系统运行稳定性与信息化水平，需引入在线监测、动态调控与全过程智慧管理平台，实现对污泥产量、成分与能耗的精细化管理[7]。污泥处理与资源化在污水处理厂升级中不再是末端处理任务，而是贯穿全流程的协同环节。通过系统化、集成化设计思路，将污泥处置从单一成本中心转变为价值输出环节，有助于推动污水处理厂向绿色、闭环、低碳的资源利用平台转型。

4 智能化运维技术在污水处理厂升级中的集成应用

城市污水处理厂升级改造过程中，传统管理方式已难以满足高标准、高效率的运行要求，智能化运维技术的引入成为推动处理厂现代化转型的重要路径。智能化系统以数据驱动为核心，融合传感技术、自动控制、物联网与人工智能算法，构建全过程动态感知、实时调控与预测优化的运行体系，提高整体运行效率与系统响应能力。

在感知层面，智能传感器可实现对水质参数、设备状态、能耗数据的高频监测，覆盖水量、水质（COD、TN、TP、pH、DO 等）、设备振动、电耗等关键指标。多源异构数据的实时采集为精准调度与故障预警提供基础条件[8]。控制系统通过 PLC、DCS 等自动化平台，实现对各处理单元的联动控制，如风机转速调节、投药系统优化、污泥回流比例调控等，显著降低人工干预频率与人为误差风险。智能决策层依托大数据分析与模型预测，构建运行优化模型和能效控制算法。基于机器学习与规则引擎的智能调度系统可根据进水水质、水量预测结果动态调整运行参数，实现按需运行与负荷匹配，避免能耗浪费与处理异常。数字孪生技术的引入，使得厂区能够在虚拟环境中模拟实际运行状态与改造效果，辅助工程设计与运维策略优化。

在管理层面，智能平台可实现运维一体化管理，集成设备管理、能耗分析、故障诊断、维护计划等多项功能。通过云端协同与移动终端接口，运维人员可远程掌控厂区运行状况，及时响应系统报警，提高管理效率与服务水平，基于 GIS 与 BIM 技术的可视化界面增强了系统交互性与可操作性，助力设施资产全生命周期管理[9]。智能化运维不仅提升了污水处理厂的运行可靠性与经济性，也促进了管理模式从经验驱动向数据驱动的根本转变。在未来发展中，智能化技术将与绿色工艺、低碳运营、智慧城市建设深度融合，推动污水处理厂实现技术集成、管理协同与价值升级，为构建现代化城市水系统提供有力支撑。

5 结语

城市污水处理厂升级改造是实现水环境质量提升与资源高效利用的重要路径，通过明确技术需求、优化处理工艺、强化污泥协同利用以及引入智能化运维系统，构建绿色、低碳、高效的运行体系已成为发展方向。技术路径的科学选择与系统集成能力，决定改造效益与可持续水平。未来应持续推动创新技术与管理模式融合，提升污水处理整体性能，促进城市生态环境建设与基础设施现代化进程。

参考文献

[1] 王福浩,朱四富,沈晓南.污水处理厂运行和管理问答[M].化学工业出版社:202403.306.

[2] 马耀宗,武海霞,孟庆宇,等.更严格排放标准下我国城市污水处理厂提标改造进展[J].净水技术,2023,42(11):37-48+126.

[3] 李敏.河北滏东污水处理厂提质改造工艺研究及运行效果分析[D].南昌大学,2023.

[4] 徐云飞.污水处理厂多阶段升级改造模型研究与应用[D].太原科技大学,2023.

[5] 李珺.基于优化 RBF 神经网络的污水处理厂能耗预测及灵敏度分析研究[D].昆明理工大学,2023.

[6] 郝玉东.某城市污水处理厂进出水水质预测研究[J].清洗世界,2023,39(03):57-59.

[7] 马先芒.MBR 工艺在污水处理厂升级改造中的应用[J].工程技术研究,2022,7(21):34-36.

[8] 段丛苗.CAST 工艺污水处理厂升级改造方案设计和运行优化研究[D].哈尔滨工业大学,2022.

[9] 闵辰琦.泗洪县城南污水处理厂迁建工程方案设计研究[D].南京林业大学,2022.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/