

城市更新背景下水质净化厂的智慧化提质增效技术研究

崔贺 张耀凯^{通讯作者} 张晓薇 王慧钰

广州理工学院, 广东 广州 510540

摘要: 在城市更新进程中, 水质净化厂作为城市健康运行的关键枢纽和安全保障, 其智慧化提质增效的优劣至关重要。本文聚焦城市更新背景, 结合水质净化厂更新改造实际案例, 从智慧化评价体系构建、关键技术应用及工程实践等方面展开研究。通过构建多维度的评价体系, 分析智能化监测与控制、数字化管理平台、低碳节能技术等在水质净化厂的应用, 并以深圳洪湖、福田等水质净化厂为例, 系统阐述智慧化提质增效的具体实施路径与成效, 为城市更新过程水质净化厂的升级改造提供实践参考。

关键词: 城市更新; 水质净化厂; 智慧化; 提质增效; 低碳节能

DOI: 10.63887/fns.2025.1.2.18

随着城市化进程的不断加快, 城市更新成为提升城市品质、实现可持续发展的重要途径。水质净化厂作为城市基础设施的关键组成部分, 在城市更新中面临着提高处理效率、优化运行管理、降低能耗排放等多重挑战。传统的水质净化厂运营模式在数据采集、处理决策、资源调配等方面存在一定局限性, 难以满足城市更新对水资源高效利用和生态环境保护的要求。智慧化技术的发展为水质净化厂的提质增效提供了新的思路和方法, 通过引入智能化监测、数字化管理、低碳节能等技术, 实现水质净化厂的精细化运营和可持续发展, 成为城市更新背景下水质净化厂发展的必然趋势。

1 城市更新对水质净化厂的新要求

1.1 污染物处理能力的适应性提升需求

城市更新进程中, 人口密度的增加与产业结构的调整直接导致污水排放量与污染物组分发生显著变化。一方面, 新兴产业如电子信息、生物医药等产生的工业废水, 引入了更多难降解有机物、重金属离子等复杂污

染物, 传统处理工艺在应对此类污染物时面临去除效率不足的问题。另一方面, 城市老旧管网改造过程中, 雨污混接、地下水渗入等问题导致进水水质波动加剧, 例如深圳市福永片区在排水系统提质增效行动中发现, 雨季外水入污量最高占比达 40%, 严重影响生化处理单元的稳定运行^[1]。

这对水质净化厂提出了处理工艺柔性化与高效化的双重要求。在工艺设计层面, 需强化预处理单元的抗冲击能力, 如增设精细格栅、调节池容积优化等, 同时升级核心处理工艺。以茅洲河流域某水质净化厂为例, 针对进水 BOD 浓度长期低于 100mg/L 的问题, 通过厌氧水解酸化工艺与改良 A²/O 工艺的耦合, 将碳源利用率提升 35%, 出水 COD 稳定在 50mg/L 以下。在运行管理层面, 依托智能化监测系统实时追踪水质变化, 如洪湖水水质净化厂部署的 200 余套在线传感器, 可实现对 COD、氨氮等指标的分钟级监测, 结合神经网络模型动态调整曝气量与药剂投加量, 确保在进水负荷波动±20%时仍能稳定达标。这种从“粗放式处理”到“精准化调控”的

转变，成为应对城市更新中水质复杂变化的核心路径。

1.2 智慧化管理与决策支持的精准化需求

城市更新带来的管理精细化要求，倒逼水质净化厂从经验驱动转向数据驱动。传统人工巡检模式存在频次低（每日 2-3 次）、覆盖不全（仅 30% 关键设备）等问题，难以满足实时监管需求。智慧化改造后，洪湖水水质净化厂构建的“管控一体化”平台，集成 3000 余个监测点数据，实现设备运行状态、水质参数、能耗指标的全时在线监控，故障响应时间从 4 小时缩短至 15 分钟。这种数字化转型不仅提升了运营效率，更通过数据建模实现预测性维护，如通过轴承温度、振动频率等参数的机器学习分析，提前 72 小时预警设备故障，降低非计划停机率 40%。

在决策支持层面，数字孪生技术正在发挥重要作用。深圳某水质净化厂建立的三维仿真模型，可模拟不同工况下的工艺运行效果，例如暴雨期间进水量突增时，系统自动生成最优调度方案（调节池预腾空+水泵组合运行），将溢流风险降低 60%^[2]。

2 水质净化厂智慧化评价体系构建

2.1 评价体系的维度与指标

为了客观、全面地评估水质净化厂的智慧化水平和运营管理成效，借鉴相关研究成果，从多个维度构建评价体系。首先是设计质量维度，包括土地利用效率、工艺设计的先进性和合理性、与城市规划的协调性等指标。例如，采用半地下式+双层上盖结构的水质净化厂，在土地集约利用方面表现突出，如深圳固成水质净化厂通过这种结构优化了土地使用，为城市腾出更多发展空间。工艺运行管理维度则关注污水处理工艺的稳定性、污染物去除效率、运行参数的优化调控等，智慧化技术可以实现对工艺参数的实时监测和自动调整，提高处理效率。

设备设施管理维度涉及设备的智能化水平、运行可靠性、维护保养的便捷性等，智能化设备能够实时反馈运行状态，便于及时发现故障并进行维修，减少停机时间。成本管控维度包括建设成本、运行成本、能源消耗成本等，智慧化技术的应用可以在降低能耗、提高设备利用率等方面发挥作用，从而降低成本。绿色低碳化水平维度重点考察碳排放强度、可再生能源利用比例、污泥处理的环保程度等，如安装太阳能光伏发电系统的水质净化厂，能够实现能源自给自足，减少对传统能源的依赖。

智慧化水平维度是核心维度之一，涵盖智能化监测系统的完善程度、数据采集与分析能力、自动化控制水平、数字化管理平台的应用效果等。社会与环境效益维度包括对周边环境的影响、公众满意度、水资源循环利用情况等，水质净化厂的智慧化提质增效不仅要关注自身运行，还要考虑对城市生态环境和社会的积极影响。

2.2 试点评价案例分析

以深圳市内两个不同建成年份、设计规模和硬件配置的试点水质净化厂 A 和 B 为例，开展试评价工作。通过对各个维度指标的详细评估，A 厂在智慧化水平和绿色低碳化方面表现较好，其智能化监测系统覆盖全面，能够实时对水质、设备运行等数据进行采集和分析，并且采用了太阳能发电等低碳技术，成熟度为第 3 级，得分为 76.37 分。B 厂在工艺运行管理和设备设施管理方面有一定优势，但在智慧化技术的应用上相对滞后，成熟度为第 2 级，得分为 72.20 分。试点评价结果表明，该评价体系能够客观公正地反映水质净化厂的运营管理水平，为水质净化厂的智慧化提质增效提供了明确的方向，促使其向更高标准迈进^[3]。

3 智慧化提质增效关键技术应用

3.1 智能化监测与控制技术

智能化监测与控制技术是实现水质净化厂智慧化的基础。通过在水质净化厂各个环节安装传感器、仪表等设备,实时采集水质参数(如COD、BOD、氨氮、总磷等)、水量、设备运行状态(如水泵转速、风机风量、阀门开度等)、能耗数据(如电能消耗、药剂用量等)等大量信息,并将这些数据传输至中央控制系统^[4]。

例如,在曝气系统中,根据实时监测的溶解氧浓度和生物反应池的运行状态,自动调节风机的风量,在保证污水处理效果的同时,降低能源消耗。在加药系统中,根据进水水质和处理要求,精确控制药剂的投加量,避免药剂的浪费,提高处理效率。智能化监测与控制技术还可以实现对设备的远程监控和故障预警,当设备出现异常时,系统能够及时发出警报,并自动采取相应的措施,如切换备用设备,确保水质净化厂的稳定运行。

3.2 数字化管理平台

数字化管理平台是整合水质净化厂各类信息资源、实现高效管理的核心。该平台集成了生产运行数据、设备管理数据、能耗数据、水质监测数据等,通过可视化界面,为管理人员提供全面、实时的运营信息,便于进行决策分析和调度。在生产管理方面,平台可以制定生产计划,监控生产进度,优化生产流程,提高生产效率。在设备管理方面,实现设备的全生命周期管理,包括设备的采购、安装、运行、维护、检修等环节,记录设备的运行数据和维护历史,为设备的维修保养提供依据,延长设备的使用寿命^[5]。

在能耗管理方面,平台对水质净化厂的能源消耗进行实时监测和分析,找出能耗高的环节和原因,制定节能措施,降低能耗成本。此外,数字化管理平台还可以实现与上级主管部门、环保监测机构等的信息共享,便于接受监督和管理。如洪湖智慧水质净化

厂的管控一体化平台,能够对厂级设备、生产、安全和运维进行综合处理,实现了厂站无人/少人值守的智能化自动控制,提升了管理效率和决策的科学性。

3.3 低碳节能技术融合

在城市更新背景下,低碳节能技术的融合应用是水质净化厂提质增效的重要方向。一方面,通过优化工艺设计,采用高效节能的污水处理工艺,如厌氧-缺氧-好氧(A²/O)工艺、生物脱氮除磷工艺等的改进和优化,降低处理过程中的能源消耗和药剂用量。另一方面,积极利用可再生能源,如太阳能、风能等,为水质净化厂提供部分能源供应。

在建筑设计方面,采用节能建筑材料和技术,如保温隔热材料、自然通风和采光设计等,降低建筑的能耗。同时,加强对污泥的处理和处置,采用先进的污泥脱水干化技术,减少污泥的含水率,降低污泥处理过程中的能耗和环境污染,实现污泥的减量化、无害化和资源化^[6]。

4 实际工程案例分析

4.1 洪湖水质净化厂智慧化改造

洪湖水质净化厂基于“管控一体化”思路,顺应数字化、智能化的发展趋势,致力于解决厂级设备、生产、安全和运维的疑难问题。在智能化监测方面,部署了大量的传感器和监测设备,对水质、水量、设备运行状态等进行实时监测,数据实时传输至智慧水务管控平台。平台通过对数据的分析和处理,实现了对生产运维管理和能耗的监测与节能分析,能够实时监控水厂耗能指标,并对生产经营决策、管理、计划、调度、过程优化、故障诊断、数据建模分析等进行综合处理。

在设备管理方面,实现了设备全生命周期的信息化管理运维,通过建立设备档案,记录设备的基本信息、运行数据、维护记录等,便于对设备进行精准的维护和管理,提

高设备的可靠性和使用寿命。通过采用先进的管理思维和技术手段,洪湖水质净化厂实现了厂站无人/少人值守的智能化自动控制,在保障水质安全可靠的前提下,实现了最佳成本效率,为其他水质净化厂的智慧化改造提供了有益的借鉴^[7]。

4.2 福田水质净化厂二期工程实践

福田水质净化厂二期工程是亚洲最大的双层半地下式水质净化厂,项目规模庞大,在设计和施工过程中贯彻绿色低碳、节能降耗的新发展理念。在设计阶段,采用 BIM 技术进行三维建模和设计优化,结合三维地质 BIM 模型与 Dynamo 技术的桩长校核技术,对桩基设计和施工进行指导,减少了建造过程中的碳排放量,提高了施工效率和质量^[8]。

在施工过程中,应用绿色建造技术,采用节能材料和环保工艺,降低施工对环境的影响。在运营阶段,安装太阳能光伏发电系统,利用可再生能源为水厂提供部分电力。

结语

在城市更新背景下,水质净化厂的智慧化提质增效是提升城市生态环境质量、实现可持续发展的重要举措。通过构建科学合理的智慧化评价体系,能够全面评估水质净化厂的运营管理水平,为提质增效提供明确的方向。智能化监测与控制技术、数字化管理平台、低碳节能技术等关键技术的应用,能够实现水质净化厂的精细化运营、高效管理和绿色发展。实际工程案例表明,这些技术在实践中取得了显著的成效,为其他水质净化厂的智慧化提质增效提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 龚利民, 古凌艳, 向萍, 黄壮鹏. 水质净化厂评价体系构建与试点评价案例分析[J]. 净水技术, 2024, 43(12): 1-6+212.
- [2] 曾哲伟. 低碳节能理念在现代水质净化厂设计中的应用[J]. 吉林水利, 2024, (08): 69-73.
- [3] 齐维丽, 戴龙, 张辛平. 低碳视角下的数字技术在水质净化厂工程中的应用[A]. 《第十一届 BIM 技术国际交流会——BIM 赋能未来城市之数字建造与管理》论文集[C]. 中国图学学会土木工程图学分会、《土木建筑工程信息技术》编辑部: 2024: 206-212.
- [4] 易升泽, 汤维明, 俞静雯. 深圳市福永污水处理系统提质增效案例分析[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(10): 31-38.
- [5] 洪湖水质净化厂智慧水厂项目[J]. 自动化博览, 2023, 40(05): 58-61.
- [6] 方刚, 唐颖栋, 楼少华, 邵宇航, 甄万顺, 吕权伟. 茅洲河流域水质净化厂污水系统提质增效实践[J]. 中国给水排水, 2022, 38(20): 96-101.
- [7] 罗燕山, 张怡坚. 数字化信息技术在水质净化项目管理中的应用[J]. 建筑施工, 2021, 43(08): 1630-1632.
- [8] 任友昌, 赵德霜, 程永伟, 彭怡. 昆明市第三水质净化厂提质增效分析[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2018, 34(05): 56-61.