

净水技术前沿与热点综述

邹博源. 双碳背景下城镇污水处理厂数字化转型关键因素探究[J]. 净水技术, 2025, 44(5): 7-14.

ZOU B Y. Exploration on key factors of the digital transformation of urban WWTPs under the background of carbon peak and carbon neutrality[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(5): 7-14.

双碳背景下城镇污水处理厂数字化转型关键因素探究

邹博源*

(上海城投污水处理有限公司, 上海 201203)

摘要 【目的】在碳达峰与碳中和的战略背景下,城镇污水处理厂的数字化转型已成为推动协同减污降碳、提升处理效能及优化运营管理的核心驱动力。当前,多数污水处理厂在运营管理上过度依赖传统经验,调控手段粗放,导致资源利用效率低下与能源浪费显著。因此,构建一套能够实现污水处理厂稳定、低碳、高效运行的全流程数字化运营管理策略显得尤为迫切。【方法】对污水处理系统及污泥干化焚烧系统整体工艺流程的深入剖析与梳理,融合新型信息技术对历史数据进行深度分析建模并构建主要关键设备效能评估诊断体系与实现数据实时精准采集是传承技术经验、加速污水处理厂数字化转型的关键所在。【结果】此外,精准识别现有运营瓶颈,明确数字化技术的应用切入点是构建基于大数据决策的智能化系统的重要基石。同时,文章还详细阐述了污水处理厂设施设备智能化管理平台及碳排放信息化平台的建设要点。为推进数字化转型,建设集约化的数据处理平台,强化内部人员数字化交流培训,确保数据的准确性与可靠性,亦是不可或缺的关键措施。【结论】数字化并非可选之项,而是关乎生存的关键之项。实施数字化的真正难点,除技术层面外,还涉及人的因素。数字化的推进反映了企业的战略定位、文化塑造和组织体系的变革。

关键词 数字化转型 城镇污水处理厂 智能化运行管理 智慧化污水厂 协同减污降碳

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)05-0007-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.05.002

Exploration on Key Factors of the Digital Transformation of Urban WWTPs under the Background of Carbon Peak and Carbon Neutrality

ZOU Boyuan*

(Shanghai Chengtong Wastewater Treatment Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

Abstract [Objective] Under the background of carbon peak and carbon neutrality, the digital transformation of urban wastewater treatment plants (WWTPs) is the core driving force to realize coordinated pollution reduction and carbon reduction, improve treatment efficiency and optimize operation and management. At present, the operation and management of most WWTPs rely heavily on traditional experience and the regulation mode is extensive, resulting in inefficient use of resources and significant energy waste. Therefore, it is increasingly urgent to construct a set of full-process digital operation and management strategies that can achieve stable, low-carbon and efficient operation of WWTP. [Methods] Through the in-depth analysis and sorting of the overall process of wastewater treatment system and sludge drying incineration system, it is found that the analysis and modeling of historical data combined with new information technology, the establishment of efficiency evaluation and diagnosis of main and key equipment and real-time accurate collection of data are the most key factors to realize the inheritance of technical experience and digital transformation of WWTPs. Establishing the application points of digital technology by identifying the existing bottlenecks is also the basis for the development of an

[收稿日期] 2024-08-01

[基金项目] 上海市科学技术委员会科技计划项目:污水污泥协同减污降碳技术应用示范与运营模式研究(22dz1209202)

[通信作者] 邹博源(1984—),男,高级工程师,博士研究生,研究方向为污水、污泥处理及资源化,E-mail:zouboyan@shwwt.com。

intelligent system for decision-making based on big data. [Results] In addition, the key points of the construction of WWTP facilities and carbon emission information platform are also expounded. Establishing an intensive data center, strengthening the internal digital personnel communication and training and ensuring the accuracy and reliability of data are important countermeasures for the digital transformation of WWTPs. [Conclusion] Digitalization is not an option, but a crucial one for survival. The real challenges of implementing digitalization, apart from the technical aspects, also involve human factors. Digitalization's progress mirrors a company's strategic positioning, cultural formation, and organizational system transformation.

Keywords digital transformation urban wastewater treatment plant (WWTP) intelligent operation and management intelligent WWTP collaborative pollution control and carbon reduction

城镇污水处理厂是1个多变量、非稳定、时变的复杂系统,如水质水量动态变化,过程单元多、反应机理复杂,包含大量设备设施等。在运行过程中会受到很多内部和外部因素干扰。内部干扰来自污水处理厂本身,如池型占地约束工艺参数、污泥输送泵运行工况对整个污泥处理过程的干扰等;外部干扰来自污水处理厂外部环境,如来水量突变、污染物负荷改变、天气变化等。通常内部干扰可以通过污水处理厂内部调控来降低或消除其对污水处理厂产生的影响,而外部干扰往往是不可控的,需要通过提前预测、协同处置来提供相应的应急解决方案。污水处理厂在实际运行中,虽然有大量的在线和离线数据,但用于指导实际运行的量化的指示有限,污水处理厂的运行管理者往往依赖经验和直觉来调整相关操作参数。以曝气过程为例,污水处理厂好氧池需要进行大量的曝气,但是目前往往都是存在过度曝气的现象,导致能源的大量浪费。因此,在运行管理中借助于数字化转型,可以有效地进行预判与解决,在发生突发状况时及时采取有效措施,实现节能减排和精细化管理^[1]。

数字化转型是指以大数据、工业互联网、人工智能等新型信息技术为驱动的业务模式变革^[2],数字化是通过数据实时采集,利用已设定的系统完成分析,实现物理世界的在线化。数字化与信息化之间的关键性差异,体现在数据获取方式的根本变革上。数字化时代,数据不再依赖于人工录入,而是通过物联网感知技术实现自动化采集,这一过程涵盖了数据的感知、采集、呈现及深入分析。智能化作为数字化的高级发展阶段,它不仅是数据化、信息化与数字化三者的深度融合,更是在数字化产生的大规模数据基础上,由系统执行科学决策与精准操作,即系统能够自动感知信息、精确分析数据,并据此做出合理的执行决策。而智慧化,作为智能化的最终形态,其

核心区别在于系统是否具备自我学习、持续进步以及不断进化迭代的能力,这标志着系统从被动接受指令向主动优化提升的重大转变。

城镇污水处理厂的数字化升级转型,是新质生产力在环境保护领域的1次具体实践与展现,其赋能作用尤为显著。在此过程中,充分利用了先进的信息化技术手段,实现对污水处理厂内部资源的精准配置与高效利用,进而可显著提升决策制定的效率与精确度。数字化转型为污水处理厂构筑了实现新质生产力的坚实基础与技术平台,而新质生产力则以其强大的驱动力,为数字化转型注入了源源不断的活力与支持。两者相辅相成,携手并进,共同驱动污水处理厂朝着碳中和目标的绿色可持续发展道路坚定前行。

1 污水处理工艺数字化提升关键因素分析

污水处理是1个连续不断且较为复杂的反应过程,其结果取决于物理、化学和生物反应过程的互相交织和相互影响;处理效果并非立即显示需要一定的时间进而产生滞后性,导致过程建模和工艺参数优化的高难度。纵观国内外污水处理厂数字化的实践经验,基本都采取自动化控制和实时监测系统叠加人工智能、大数据分析和云数据等新技术,实现自动采集、自动判断、自动调整和自动控制四位一体的高度集成和智能化的运行模式^[3],能够显著提高污水处理过程的精细化管控效率,达到降本增效与节能减排的效果。在新设备和新技术的引入过程中普遍存在投资成本高、技术标准不统一、系统集成周期长与人员培训难度大、小型污水处理厂技术普及率低等特点^[4]。传统污水处理厂的自动化控制通常采用可编程逻辑控制器(PLC)进行自动控制,主要关注于现场的操作,如感知、执行和反馈。智能化污水处理厂则不仅局限于现场操作,而是涉及污水处理的全局协调、调度和决策^[5]。这依赖于使用物联

网、云计算、监控安防、工业自动化控制等更为先进的技术手段(图1)。

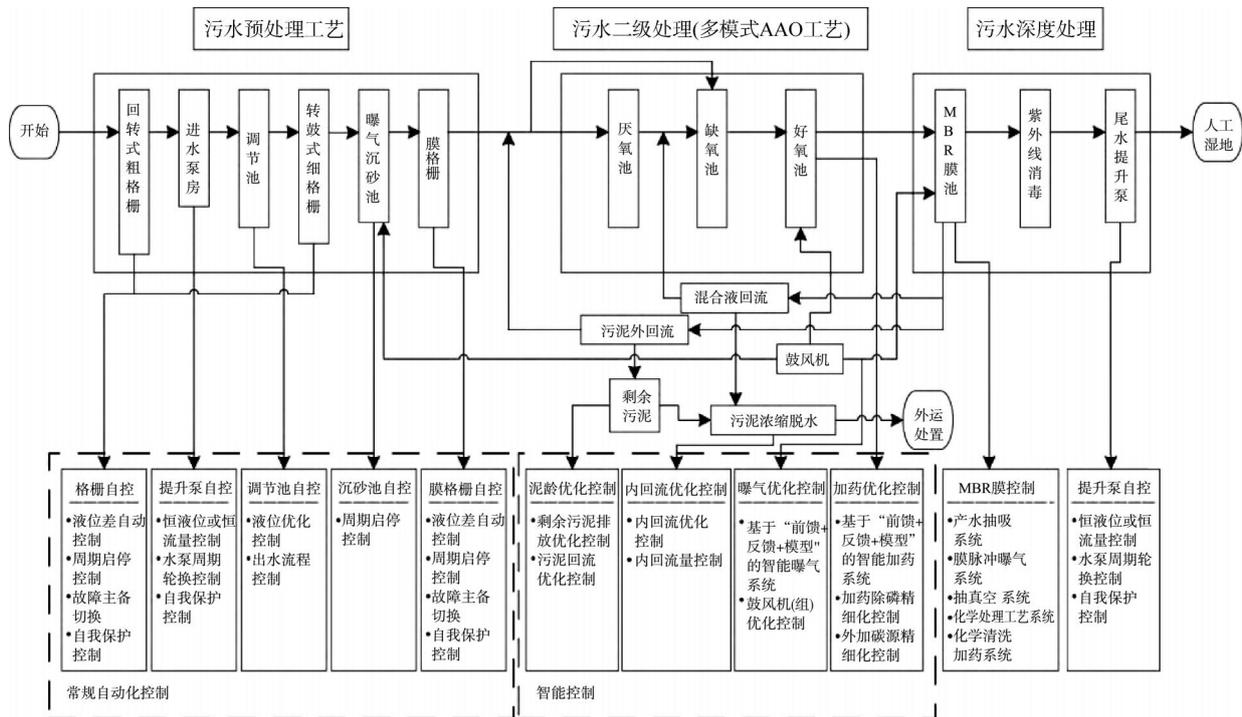


图1 污水处理厂常规自动化与智能控制^[5]

Fig. 1 Conventional Automatic Control and Intelligent Control of WWTP^[5]

构建数字化工艺管理体系以实现趋势智能研判是污水处理数字化转型的核心,整合机理模型、数理模型和大数据挖掘技术,为工艺运行提供了全面的自动分析、评估、预测和优化功能。首先,污水处理系统的有效数字化转型需在原有整体工艺的基础上,分析实际运行数据和总结相关运行经验,统计进水组分和工艺沿程处理参数与处理效果变化规律。通过全流程模拟或采样分析,寻找出不同外部条件下系统运行最佳工况的关键因素和相应优化方案。然后选取或定制智能化设备,在兼顾原有系统的基础上通过软件设计健全信息采集体系的及时性和可靠性。将原有分散的工艺参数和设备运行数据进行集成汇总,打破信息孤岛。

基于收集到的数据,进行清洗和提取后建立机理模型和数理模型。机理模型主要描述工艺过程中的物理、化学和生物反应;数理模型则运用数学方法对工艺运行数据进行全面分析和处理,评估各项指标的合格性和稳定性。通过对比历史数据和实时数据,系统能够及时发现异常情况,揭示数据背后的规律和趋势。同时,进行全方位仿真模拟评估不同工艺参数和设备工况对运行效果的影响。根据预测和

模拟结果,自动形成曝气量、加药量、内回流比等工艺参数调度决策。这些决策旨在优化工艺运行,提高处理效率和稳定性,并提供丰富的可视化图表和报告,帮助运行人员更好地了解工艺运行状态便于进行故障排查和优化调整。为厂网一体化排水调度提供科学合理的依据,制定合理的污水处理量计划,实现排水系统的整体优化。随着数据的不断积累和技术的不断发展,数字化工艺管理体系还应具备不断学习和优化自身的模型和算法,提高预测和优化的准确性,还应支持与其他信息化系统的集成和共享,实现更广泛的数据互联互通和协同应用。

自养菌如硝化菌,是污水处理过程中去除氨氮的关键微生物。它们的最大比生长速率是污水处理的一个关键参数,决定了处理氨氮的效率。在线监测污水处理过程中氨氮的进出水浓度变化校准自养菌最大比生长速率,进而结合其他进水指标与污泥浓度、溶解氧等过程参数发现,最大安全处理流量对于提高污水处理效率和确保出水水质达标具有重要意义^[6]。进行全方位仿真模拟评估不同工艺参数和设备工况对运行效果的影响。根据预测和模拟结果,形成曝气量、加药量、内回流比等工艺参数调度

决策,旨在优化工艺运行,提高处理效率和稳定性,并提供丰富的可视化图表和报告,帮助运行人员及时进行故障排查和优化调整。智慧化污水处理厂由本地中央控制系统和各类专业的信息化系统构成,通过多个系统之间的生产数据交互,调度指令的自动上传下达,形成污水处理厂内工艺数据反馈自调节的管理闭环。

2 污泥干化焚烧工艺数字化提升关键因素分析

污泥是污水处理过程中产生的衍生物,目前污泥的主要处置方式为土地利用、填埋和焚烧。无论何种方式,污泥干化焚烧都是实现污泥减量化、稳定化和资源化的重要途径。污泥干化焚烧工艺包括脱水、干化和焚烧3个环节,详细流程如图2所示。

污泥干化焚烧是个复杂的系统,存在惯性、滞

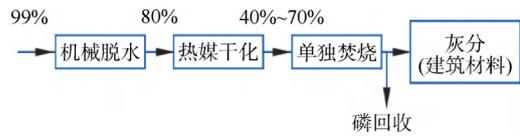


图2 污泥干化焚烧典型工艺流程^[7]

Fig. 2 Typical Process Flow of Sludge Drying and Incineration^[7]

后、非线性、时变、工作环境和干扰的不确定性,同时,污泥热值及含水率无法准确实时计算测量。因此,需对于所采集的历史运行数据变化规律进行研究,干化过程包括:污泥处理量、蒸汽参数、载气入口流量、出口温度等;焚烧过程包括:燃烧温度、辅助燃料投加量、空气预热温度、流量等。基于此,采用人工神经网络、支持向量机等机器学习算法,建立不同运行工况下干化蒸汽耗量/干化尾气参数、辅助燃料投加量/燃烧温度、蒸汽产量等预测模型(图3)。

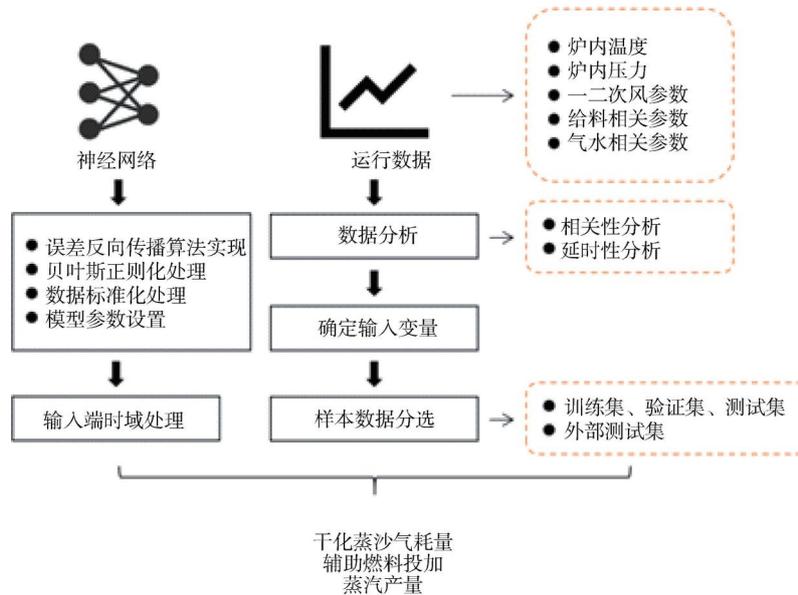


图3 污泥干化焚烧工艺数据评价预测建模

Fig. 3 Data Evaluation and Prediction Modeling of Sludge Drying and Incineration Process

日常运行管理中有大量传感器采集的实时数据,可对污泥干化焚烧过程中主要关键参数如污泥含水率、干燥机温度、燃烧炉温度、烟气排放指标参数等进行工艺数据巡视。以历史运行数据分析为基础对主关键参数均设置上下限报警功能,当所采集参数低于下限或者高于上限之后及时报警提醒。统计分析历史运行数据最大值、最小值、均值、标准差等统计数据,绘制数据分布直方图及箱型图,对数据

值的正常范围、变化规律进行分析,当所采集参数不在正常范围内或者超出一定范围时,及时预警。针对污泥干化过程分析历史运行过程中不同污泥进泥量、蒸汽参数情况下干化机出口载气温度、压力等变化规律挖掘干化机最大产能与最少能耗物耗之间的平衡点。建立污泥焚烧炉不同位置的温度分析摸索平均温度随时间变化的趋势,进而对其运行工况进行诊断并及时预警。

引入边云协同的智能污泥干化过程控制方法和设备远程监控系统,借助边云协同技术对污泥干化数据进行分析处理^[8]。边缘计算靠近工业制造物理现场,实时敏捷,降低网络资源需求,其特点正适合污泥处理现场的过程控制、全样本数据采集以及多维度多结构多尺度的数据融合,同时通过数据的互通,实现云边协同的架构。在边缘侧利用流数据分析对污泥干化数据进行实时处理,包括数据清洗、数据去冗余、数据预处理和协议转换。边缘流数据是分析通过在设备端进行数据的实时处理,可以快速响应设备状态的变化,对于异常情况可以立即采取措施。同时,这种方法显著降低了需要传输到云端的数据量,减少了网络带宽的压力,并提高了系统的实时性。数据清洗即去除污泥干化过程中产生的噪声、异常值和错误值,确保数据的准确性和可靠性。协议转换确保边缘设备和云端平台之间的数据交换顺畅,避免协议不匹配导致的通信问题。在云端训练污泥干化预测模型,通过对比多元线性回归和深度神经网络算法回归预测的精度,确定在边缘侧推理深度神经网络预测污泥含水率;其中利用神经网络模型压缩技术对训练好的含水率模型进行轻量化处理,实现对污泥干化数据的实时、高效处理和分析,提高污泥干化过程的精确控制和实时优化。

3 设施设备数字化管理关键因素分析

设施设备的智能化改造,作为污水厂数字化转型的核心组成部分,其目的在于显著提升设施设备的可靠性及稳定性,确保污水厂设施设备的运行既安全又经济,同时实现节能降耗的目标。这一改造过程旨在优化设备资产在其全生命周期内的绩效表现、风险管理及成本控制,以达成综合最优化的效果。具体而言,该智能化改造涵盖了现场智能巡检、设备智能诊断评估系统以及设备故障维护管理平台等多个方面。

现场智能巡检系统依据实际运行需求,精心布局了多个巡检点,并通过对巡检人员的时间与位置进行实时监控,确保巡检工作的有序进行。系统不仅支持多人同时完成全部巡检任务,也允许分批次进行,最终根据巡检结果计算所需时间,并依据不同设备类型设定相应的巡检频率。在每个巡检点,系统均要求拍摄记录,并将巡检要求及标准手势作为学习参考资料提供给巡检人员,以确保巡检工作的

标准化与高效性。此外,系统还集成了临时任务管理功能,允许管理人员针对巡检过程中发现的异常情况,及时发布临时任务进行处理与记录,从而强化运行人员对现场问题的主动分析能力与快速响应速度。

目前,鉴于众多城镇污水处理厂正积极推进恶臭污染物的封闭收集、输送与处理工作^[9],传统的生物池曝气监控方法已难以持续。在此背景下,开发无人巡检装置显得尤为重要,其不仅简化了在加盖封闭区域内的巡检作业流程,显著提升了作业安全性,还有效满足了工艺运行的日常监测需求。作为一种高度实用的技术设备,封闭环境下的无人巡检装置需具备以下核心功能:确保在生物处理曝气池内实现稳定航行,保障巡检作业的连续性与准确性;实时监测水质数据并即时上传,为工艺调控提供及时准确的信息支持;自动生成巡检报告,并对异常数据进行智能识别与提示,助力管理人员迅速响应潜在问题;自动完成水质样品的采集与保存工作,为后续分析与研究提供可靠样本;在封闭环境中实现装置的实时定位,并同步传输巡检图像,增强监控的直观性与全面性^[10]。

为确保污水厂高效、稳定和安全运行,建立设备能效评估及诊断模型。对于污水污泥处理过程中重要旋转机械设备,基于流体力学理论,建立相应的效率评估模型,包括风机、水泵、螺杆泵等。通过多参数的敏感性分析,识别具体参数对模型的输出影响,进而优化设备的开启策略和最佳工作区间,动态调整投入运行设备数量和转速,降低能耗和自身磨损。通过对主要关键设备进行评估,直观地反映设备的运行状态。通过查看设备的评估结果对比现在设备的实际使用情况,运行人员根据评估结果进行设备的工艺参数调整。若评估结果出现异常,可快速锁定非正常工况的设备及时进行检修。实现从传统的故障维修模式向基于设备状态的维护模式转变^[11]。这种模式能够更好地预测和防止设备故障,恰当及时地对设备开展有效的运维工作,避免当修不修或过度维修。

4 城镇污水处理厂管理平台数字化建设

打造设备故障维修系统综合管理平台,全面覆盖从故障发现、工艺适应性调整、故障深度分析、维修任务部署、具体维修内容执行、设备调试以及恢复

生产等多个关键环节,确保所有相关信息均能在系统内得到及时反映。通过整合运行、维修及管理人员之间的留言互动与会商记录,实现对设备维修流程的全方位过程管理,确保每一步操作均有据可查,有迹可循。引入了维修统计功能,能够直观展现不同系统的故障概况及3 d内修复效率,为管理人员提供了强有力的数据支持。从故障发现到维修完成的整个过程中,所有参与人员的操作记录均被妥善保存在后台系统中,并据此生成趋势图表,以便于管理人员进行深入的统计与分析。融合建筑信息模型(BIM)技术,使得设备在三维空间中的位置与状态能够得到直观展示。基于BIM中的设备位置信息及先进的路径规划算法,系统能够自动计算出最优的检修顺序与路径^[12],并通过三维可视化方式呈现给检修人员,极大地提升了他们对检修流程的理解与掌握程度。结合历史检修数据与专家知识库,对不同检修方案的成本效益进行全面评估,从而为管理人员提供科学合理的决策依据,助力实现设备维

修管理的最优化。

依据国家“双碳”目标的总体部署,严谨规划污水处理厂碳排放核算的信息化平台技术架构,并配套实施碳排放管理平台的建设。此举旨在精确掌握污水处理厂的碳排放状况,为科学制定碳减排策略提供坚实的依据,并确保碳排放核算与碳交易数据的合法性与准确性。在系统设计与建设过程中,严格遵循并参考了国际标准、国家标准、行业标准及地方标准,以确保平台的标准化、智能化与自动化水平。通过减少人工干预,实现外部系统数据的无缝对接与自动导入,有效缩减中间环节与操作流程,提升工作效率。此外,还需注重数据分析结果的多维度展示,以增强其可读性与实用性,进而强化智能辅助决策的科学性与有效性。具体而言,碳排放管理平台应涵盖温室气体排放核算、核算配置、统计分析、碳汇项目追踪、碳排放评价及碳排放数据管理等功能模块(图4),以全面支撑污水处理厂的碳排放管理工作。



图4 污水处理厂碳排放平台建设关键功能汇总

Fig. 4 Summary of Key Functions of WWTP Carbon Emission Platform

温室气体排放核算可根据污水处理行业已颁布的温室气体排放核算方法^[13],建立各类核算公式。核算公式和排放因子均可进行添加或删减,确保核算体系不断与时俱进。核算过程中,系统将自动采集所需数据,并通过预设的核算公式进行精准计算,得出排放量的具体结果。按照不同的工艺模块进行碳排放的细致核算,并在完成各模块核算后,将结果进行合并统计,以全面反映整体排放情况。计算完

成后,利用多种统计维度对数据进行深入分析,并通过可视化手段直观展示分析结果,如历年碳排放数据的比较分析,以识别出碳排放数据差异较大的部分,进而评估并分析降本增效措施的实施效果。低碳运行评价指标体系自动获取数据直接计算出评价结果。当新的评价标准发布时,系统能够灵活适应,采用不同标准进行多重评价,以全面展示差异,为决策者提供更加全面和深入的参考依据。

5 城镇污水处理厂数字化转型思考

建议在水务公司层面成立集成所有数字化资源的数据处理中台,动态灵活地响应不同需求进而实现不同污水处理厂内部各部门以及与外部机构的信息共享和协调工作。数据处理中台的内涵超越一般概念的管理平台^[14],是一种将多元业务场景下的零散信息和管理经验化零为整快速实现应用与迭代的数字基础设施^[15],中台的架构与理念已在互联网企业大规模应用。数据治理作为中台的基础与核心,旨在对各类数据信息应用统一的格式和结构,有利于不同体系之间的数据交换避免数据采集的重复劳动和数字化项目的重复建设。严密定义数据权限,根据实际职责和生产需求,设置不同的数据访问级别;采用生物识别等技术对身份进行认证增强安全性,确保敏感数据得到保护。

数据数量较为庞大,若数据失真即可能对事后的数据分析造成误导进而产生了错误的结论做出错误的系统调节,最终导致运行异常。虽然智能化设备可自动识别现场环境并进行反应,但这不能避免人为操作的介入,手动输入数据有可能出现人为错误产生误导信息导致错误的决策^[16]。因此,为了确保数据的准确性和可靠性,应建立数据追溯和备份机制,结合人工智能和机器学习技术,对数据进行预处理和异常检测,在确保数据有备份可追溯的情况下对数据进行分析,最大化地确保生产数据真实可靠,保障数据分析的效率。随着数据量的增加和系统的复杂化以及数据访问的频繁,数据安全和隐私保护成为重要考量。需要建立严格的数据安全管理体系,确保数据不被非法访问或泄露。

城镇污水处理厂的数字化转型是一个逐步提升的过程,遵循着螺旋式上升的路径,从长远看必定可达成降本增效的目的。但在转型的初期,导入新设备后势必增加整体的系统维护以满足新设备、新兼容性软件的更新以及新技术的人员培训。这需要较大的技术和资金投入,对于一些中小型污水处理企业而言是最大的挑战。这需要在企业发展战略中提前做出严谨的规划,明确数字化转型的紧迫性和重要性,并根据实际情况进行优先级排序。先从最基础和最迫切需要改进的环节入手,逐步推进到更复杂的系统升级。在每个阶段,都应设定明确的目标和时间表,同时评估转型过程中的风险和收益。在

数字化转型开展和推广的过程中,不应只关注生产力的提高,还需关心数字化项目如何改变了运行管理人员的工作环境和节奏。只有赢得污水厂内部广泛的支持,并提升生产人员的管理能力与服务意识,才能确保信息化工具得到高效利用。鼓励跨部门人员之间的经验分享是非常有效的知识传播方式,能促进组织内部的相互学习和一体化协同创新,信息化工具可以提高管理效率,但良好的管理理念和方法同样重要^[17]。

6 结论

在双碳目标的宏伟蓝图下,深入探索城镇污水处理厂的数字化转型路径,对于推动污水处理行业的降本增效与可持续发展具有重要意义。此转型进程高度依赖于自动化控制技术的深度应用、实时监测系统的精准部署,以及人工智能与大数据分析等前沿技术的有机融合,旨在显著提升污水处理的精细化管控效率,并切实达成降本增效的目标。数字化工艺管理体系的构建,通过巧妙整合机理模型、数理模型及大数据挖掘技术的强大力量,为工艺运行提供了全方位、自动化的分析、评估、预测及优化功能,从而引领工艺运行迈向智能化新纪元。智能化污水处理厂则依托本地中央控制系统与信息化系统构建的紧密管理闭环,实现了工艺数据的即时自动调节与精准反馈,进一步提升了运营效率。针对污泥干化焚烧环节的数字化转型,引入机器学习算法,构建了精准的预测模型,并融合了边缘计算与云端协同技术的独特优势,以期大幅提高污泥处理的效率与稳定性。同时,设施设备的数字化管理亦不容忽视,通过智能巡检、诊断评估系统及故障维护管理平台,设备的运行可靠性、安全性与经济性得到了显著提升,设备全生命周期的优化管理得以实现。为积极响应碳减排号召,建设碳排放管理平台以实现碳排放的精确核算与高效管理,为碳减排工作提供坚实支撑。在推进数字化转型的过程中,特别指出数据处理中台的重要性,以确保信息的畅通共享与高效动态协同。对于污水处理企业来说,数字化转型已经成为一个不可忽视且必须面对的重要趋势。这一转型的推进并不仅仅涉及到技术层面的更新换代和业务流程的优化,更是一个全面的变革。涵盖了企业战略的精准定位、企业文化的深刻变革以及组织能力的全面提升。借助数字化转型赋能,污水

处理企业能够更有效地适应市场需求,并实现减污降碳的协同效应。

参考文献

- [1] 邹博源, 陈广, 彭争梁. 城镇污水处理厂精细化管理的关键因素探讨[J]. 净水技术, 2019, 38(6): 107-111.
ZOU B Y, CHEN G, PENG Z L. Discussion on the key factors of lean management of urban sewage treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(6): 107-111.
- [2] VERHOEF P C, BROEKHUIZEN T, BART Y, et al. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda [J]. Journal of Business Research, 2021, 122: 889-901. DOI: 10.1016/j.hbusres.2019.09.022.
- [3] 任咏, 纪莎莎, 戴栋超. 数字水务及其在污水处理厂中的应用探索[J]. 中国市政工程, 2020(1): 53-55, 58.
REN Y, JI S S, DAI D C. Digital water & its application exploration in sewage treatment plant [J]. China Municipal Engineering, 2020(1): 53-55, 58.
- [4] 胡志荣, 琚春华, 潘文堂, 等. 国内外污水处理厂智慧化探索与实践: 简要回顾[C]. 2024年《中国给水排水》第3届智慧水务融合创新技术论坛论文集, 2024.
HU Z R, JU C H, PAN W T, et al. Exploration and practice of intelligence in wastewater treatment plants at home and abroad: A brief review [C]. 2024 Proceedings of the 3rd China Water Supply and Drainage Smart Water Technology Integration Innovation Forum, 2024.
- [5] 王萍, 杨帆. 污水处理厂智慧化运营管理平台设计及研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022(7): 92-95, 98.
WANG P, YANG F. Design and research on intelligent operation and management platform of wastewater treatment plant [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2022(7): 92-95, 98.
- [6] 张辉, 胡志荣, 续蕾, 等. 基于工艺模拟的污水处理厂数字化实例研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(1): 87-93.
ZHANG H, HU Z R, XU L, et al. A case study on digitalization of wastewater treatment plants based on process simulation [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(1): 87-93.
- [7] 郝晓地, 陈奇, 李季, 等. 污泥干化焚烧乃污泥处理/处置终极方式[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 35-42.
HAO X D, CHEN Q, LI J, et al. Ultimate approach to handle excess sludge: Incineration and drying [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4): 35-42.
- [8] 杨继松. 基于边云协同的污泥干化智能监控系统的应用[D]. 广州: 广东技术师范大学, 2021.
YANG J S. Research and application of intelligent monitoring system for sludge desiccation based on edge cloud cooperation [D]. Guangzhou: Guangdong Polytechnic Normal University, 2021.
- [9] 邹博源, 陈广. 城镇污水处理厂臭气污染与除臭技术研究进展[J]. 净水技术, 2020, 39(5): 109-115.
ZOU B Y, CHEN G. Research progress of odor pollution and deodorization technology in urban WWTP [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 109-115.
- [10] 朱俊卿, 魏海娟, 陈祺炜, 等. 封闭污水处理环境下无人巡检装置开发和试验[J]. 电气自动化, 2022, 44(5): 112-114, 118.
ZHU J Q, WEI H J, CHEN Q W, et al. Development and test of unmanned inspection device in closed sewage treatment environment [J]. Electrical Automation, 2022, 44(5): 112-114, 118.
- [11] 钟炜, 马晋超, 朱小六. 污水处理厂设备检修方案数字化平台研发及应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18): 134-138.
ZHONG W, MA J C, ZHU X L. Development and application of digital platform for WWTP facility maintenance scheme [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 134-138.
- [12] 王旭, 钟炜. 一种污水处理厂设备预测及辅助维护智能平台[J]. 中国给水排水, 2023, 39(10): 121-125.
WANG X, ZHONG W. An intelligent platform for prediction and auxiliary maintenance of WWTP equipments [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(10): 121-125.
- [13] 王洪臣, 陈加波, 张景炳, 等. 《污水处理厂低碳运行评价技术规范》标准解读及案例展示[J]. 环境工程学报, 2023, 17(3): 705-712.
WANG H C, CHEN J B, ZHANG J B, et al. Interpretation of the Technical Specifications for Low-Carbon Operation Evaluation of Wastewater Treatment Plants and case demonstrations [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(3): 705-712.
- [14] 李激, 邱勇. 城镇污水收集与处理系统提质增效技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
LI J, QIU Y. Technology and application of improving quality and efficiency in urban sewage collection and treatment systems [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023.
- [15] 张麟. 数据中台技术在C公司数字化转型中的应用研究[D]. 常州: 常州大学, 2023.
ZHANG L. Study on the application of data middle platform technology in the digital transformation of C Company [D]. Changzhou: Changzhou University, 2023.
- [16] HEE N J, SEAH H, MENG P C. Digitalising water-sharing singapore's experience [M]. London: International Water Association, 2020.
- [17] 顾睿. Y污水处理厂智能化转型研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.
GU R. Study on the intelligent transformation of Y sewage treatment plant [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.