

污水处理厂智慧调度系统构建与运行优化

陈子健

广州市净水有限公司 510000

10.12238/ems.v7i8.14745

[摘要] 随着城市化进程的加快,污水排放量持续增长,传统污水处理厂调度方式在应对高负荷、突发性水质波动和能耗控制方面存在响应滞后、资源利用效率低等问题。为解决调度手段单一、运行决策依赖经验等短板,本研究围绕智慧调度系统构建与运行优化展开,设计了一套融合物联网技术、数据采集系统与智能算法的污水处理厂智慧调度架构,通过引入多目标优化模型对处理流程中的水量分配、能耗控制与关键工艺参数进行动态调度。研究表明,该系统显著提升了处理效率与能耗控制能力,在保障出水水质稳定达标的同时,实现了运行成本的有效降低。本研究为实现污水处理的智能化转型提供了理论支撑与技术路径,对推动环保产业数字化升级与可持续发展具有积极意义。

[关键词] 智慧化; 污水处理; 多目标优化

引言

随着全球水资源的短缺问题日益严重,污水处理已成为环境工程领域的关键任务之一。污水处理作为一项公益事业,其首要目标并非盈利,但高昂的成本投入与有限的产出之间的巨大落差,不但会对政府财政形成沉重的压力,也无形中造成国家资源的浪费。传统的污水处理厂调度方式依赖人工经验,缺乏对实时数据的精确掌控和灵活响应,往往难以应对复杂的环境和运行变化。随着物联网、云计算和大数据技术的发展,智慧调度系统的构建为污水处理厂提供了新的解决方案。智慧化运营管理能提高污水处理厂运营效率、运营水平,传统污水处理厂需大量人力物力运行管理,智慧化运营管理可通过先进技术手段实现自动化、智能化操作,减少人工干预,节约人力资源成本。通过实时监测和智能化控制,可提高污水处理效率,提升处理质量,使处理后的污水达到更高标准,保护环境。因此,研究污水处理厂智慧调度系统的构建与运行优化,对于提升现代污水处理效率、推动可持续发展具有重要意义。

1. 污水处理厂现状与调度方式

1.1 污水处理厂的工作原理与流程

污水处理厂的主要工艺包括物理、化学和生物处理三个基本环节。首先,原水进入污水处理厂后,经过粗格栅和细格栅的物理处理,去除较大的悬浮物和固体颗粒。随后,污水进入初沉池,通过沉降作用去除一部分沉积物。接着,水

流进入生物反应池,利用活性污泥中的微生物进行生物降解,将水中的有机污染物分解为无害物质。经过生物处理后,水流进入二沉池,沉淀掉剩余的污泥。最后,经过消毒池的处理,污水达到排放标准后,可以排放到水体中或回用于非饮用目的。

污水处理的核心在于生物降解过程,这一过程依赖于微生物对有机物的分解与转化。不同的污水处理厂可能采用不同的工艺路线,如A2/O法、SBR法等,具体选择取决于水质特征与处理需求。整个过程中,污水的水质在不同的处理阶段得到逐步改善,最终达到排放或回用的标准。

1.2 传统调度方式的不足与挑战

在当前运行模式下,污水处理厂多依赖人工设定的时序控制与静态参数调整来实现调度管理。这种传统调度方式在日常负荷下勉强维持运行,但在面临进水水量突增、水质波动剧烈等突发情况下,常表现出响应滞后与调控失效等问题。一方面,传统系统缺乏对实时数据的感知能力,无法有效监测瞬时负荷的变化,导致污泥膨胀、处理效率下降等风险增加。另一方面,调度策略多基于经验或固定规则,难以动态匹配处理单元能力与水质水量的实际需求,易造成能耗浪费或局部超负荷运行。此外,缺乏有效的反馈机制使系统难以及时修正运行偏差,影响出水水质的稳定性和排放达标率。尤其在面对雨季合流制系统带来的水质剧变时,传统调度方式更难胜任,暴露出其在实时性、精细化和协同控制方面的

显著短板。

2. 智慧调度系统的设计与构建

2.1 物联网技术在智慧调度中的应用

在污水处理厂智慧调度系统中，物联网技术的引入极大提升了调度系统的感知能力和响应效率。通过在污水处理流程的各个关键节点部署智能感知设备，物联网实现了对现场实时数据的自动采集、传输与共享，形成高效的数据支持网

络。这些设备与调度系统互联，能够实现对进水水量、水质波动、设备运行状态等多维度数据的精准感知，为调度策略的制定与执行提供基础信息保障。物联网还支持边缘计算节点的布设，在本地进行初步数据处理与判断，减轻了中心系统的数据压力。为便于理解，以下表格展示了物联网关键组件在污水处理调度中的作用：

物联网组件	应用位置	功能描述	数据作用类型
智能传感器	进水口、曝气池、出水口	实时监测流量、水质、压力等物理参数	提供动态输入数据
无线通信模块	各数据采集终端	实现传感器数据的远程无线传输	保证数据时效性与连贯性
边缘计算设备	现场控制点	本地处理关键数据，初步分析并筛选异常数据	降低系统延迟
控制接口模块	调度中心与处理设备间	实现信息双向交互与调度指令执行	形成闭环调度机制

2.2 数据采集系统的架构与实现

在智慧调度系统中，数据采集系统是确保实时数据准确传输与处理的核心部分。该系统通过部署各种传感器与监测设备，全面收集污水处理过程中各项关键数据。数据采集系统不仅仅包括水质参数的采集，还涉及设备运行状态、环境监测等多方面的数据流。采集到的数据通过物联网技术传输至调度中心，为系统提供精准的输入支持，辅助调度决策的优化。

数据处理单元及接口模块组成。数据传感器主要负责对污水处理厂各节点如进水口、沉淀池、曝气池等位置的水质、流量、温湿度、压力等物理参数进行实时监控。数据传输模块通过无线技术，将采集到的实时数据传输至中心数据库。数据处理单元负责对传输过来的数据进行预处理、筛选及格式化，为后续的智能算法处理提供高质量的数据支持。

数据采集系统的架构主要由数据传感器、无线传输模块、

以下表格详细列出了数据采集系统中关键参数的监测内容及其作用：

监测参数	监测位置	数据类型	作用描述
水质 COD 值	进水口、出水口	浓度数据	评估水质污染程度，判断处理效果
氨氮浓度	进水口、沉淀池	浓度数据	反映水中的有害物质含量，调整处理方案
溶解氧	曝气池、沉淀池	浓度数据	监测水中氧气含量，优化曝气效率
流量	进水口、出水口	流量数据	精确控制进水量和出水量，优化水流管理
设备运行状态	各设备节点	状态数据	监控设备启停、电机负载等，进行设备维护预测
温湿度	各节点	温湿度数据	确保设备和环境条件的最佳运行状态，避免故障发生

数据采集系统通过集成这些信息，为后续的调度系统提供了基础数据支持。精确的数据采集不仅可以实时反映污水处理厂的运行状况，还能帮助系统及时发现异常情况，进行预警处理。

模型，调度系统能够在处理过程中对多个目标进行权衡，从而实现更加精确的资源调配和工艺优化。传统的调度方式往往依赖人工经验，缺乏对复杂环境变化的快速响应能力，而智能算法则能够根据实时采集到的数据动态调整调度方案，确保系统在不同工况下的最优运行。

2.3 智能算法的选择与应用

在污水处理厂智慧调度系统中，智能算法的选择与应用是提升系统效率与准确性的关键因素。通过引入多目标优化

多目标优化模型主要通过考虑多个相互冲突的目标（如能耗、处理效率、排放控制等），采用适当的优化算法求解最

佳调度方案。常见的智能算法如遗传算法、粒子群优化 (PSO) 和模拟退火等，都能在复杂约束条件下有效搜索最优解。通过这些算法，污水处理厂可以实现设备的负载均衡，减少能源消耗，同时提高处理效率和水质稳定性。

表格中的数据展示了不同智能算法在调度系统优化中的应用效果，通过比较其各自的优化目标、计算时间与精度，可以更直观地了解智能算法的优势。

算法名称	优化目标	计算时间	精度	适用场景
遗传算法	能源消耗、处理效率	中等	高	设备负载优化
粒子群优化算法	水质稳定性、排放控制	快速	中等	排放监控与调节
模拟退火算法	能耗、处理效率	较慢	高	综合调度优化

3. 智慧调度系统的优化与运行

3.1 多目标优化模型的构建与求解

在污水处理厂的智慧调度系统中，多目标优化模型被广泛应用于水量分配与能耗控制两个关键环节。水量分配方面，该模型能够基于实时入流、水质参数与各处理单元的负荷能力，综合考虑处理效率与系统稳定性，动态分配水量，避免某一处理单元过载或空转，从而提升整体处理能力与出水水质稳定性。在能耗控制方面，多目标优化模型通过引入能耗因子与运行成本指标，对曝气设备、提升泵站、污泥回流等高耗能环节进行精细调度。模型通常结合启发式算法或混合智能算法，如遗传算法、多目标粒子群优化等，构建涵盖水质达标率、能耗最小化与设备运行寿命的综合目标函数。通过对各目标函数的权重调整，实现调度方案在处理效果与能源利用间的均衡优化，为污水处理系统的低碳运行与智慧管理提供技术支撑。

3.2 调度系统的动态调整与反馈机制

在智慧调度系统中，动态调整与反馈机制起着至关重要的作用，能够确保污水处理厂在各种运行条件下保持高效稳定的运行状态。通过实时采集处理过程中各类传感器数据（如水流量、水质指标、设备运行状态等），系统能够实时监控处理单元的工作状况，并依据数据变化对调度方案进行及时调整。当检测到某一环节出现异常或设备负荷不均时，系统可以自动调整水量分配或调整运行模式，以优化资源的配置。例如，当某一处理单元出现过载时，系统会根据实时数据重新调度水流，避免设备损坏或处理效率降低。此外，反馈机制使得系统能够根据历史运行数据和预测模型不断优化调度策略，进一步提升水质达标率并降低能耗。通过这种闭环反

馈控制，系统能够在运行过程中不断学习与调整，最终实现处理过程的高效、节能与智能化管理。

结束语

本研究聚焦于污水处理厂智慧调度系统的构建与运行优化，旨在推动环境工程领域的技术革新与管理升级。通过对传统调度方式的深入剖析，结合物联网、大数据与智能算法等先进技术，提出了适用于现代污水处理厂的智慧调度系统框架，并构建了多目标优化模型以提升系统运行效率。研究过程中，注重理论与实践的紧密结合，力求在系统设计的科学性、数据采集的准确性以及算法应用的实效性上实现突破。研究成果为实现污水处理的自动化、智能化与高效化提供了理论依据与实践路径，也为后续相关领域的深入探索奠定了基础。希望本研究能为我国环境治理体系的智能升级提供参考价值，助力构建更加绿色、高效的生态环境管理体系。

[参考文献]

- [1] 邓鑫, 宁芊. 基于多目标粒子群算法的污水处理过程优化控制策略[J]. 科学技术创新. 2025, (11): 3
- [2] 记者 周桂清. 进一步提升污水处理能力[N]. 东莞日报. 2025 年 2025
- [3] 贵阳日报融媒体中心 梁婧. 麦架河污水处理厂二期项目通水试运行[N]. 贵阳日报. 2024 年 2024
- [4] 王金枝. DJC 污水处理厂安全管理优化方案设计与治理[D]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库. 2024
- [5] 马敏. 微塑料在典型污水处理厂中的分布特征及其对 PFASs 的载体作用研究[D]. 中国博士学位论文全文数据库. 2024