

基于处理效能的污水处理厂 全过程管控研究及其应用

王银生

广东省广业环保服务有限公司

摘要: 本文围绕污水处理展开, 传统污水处理厂依赖人工操作, 存在管理粗放、高新技术应用滞后等问题, 面临水质超标压力与高成本困境, 制约行业绿色转型。接着阐述全过程管控的必要性, 强调其是应对转型压力、适应监管要求的必然选择。介绍了污水处理厂全过程管控系统 (FPCS), 融合多先进技术实现智慧化控制。以南方沿海某污水处理厂为例, 展示 FPCS 应用于 CASS 工艺后, 优化运行参数、节省碳源、稳定出水水质等成效, 为污水处理行业高质量发展提供参考。

关键词: 处理效能; 污水处理厂; 全过程管控

随着城市工业化进程和人口的快速增长, 水环境污染问题日益严重, 污水处理的重要性不言而喻。从生态环境保护角度看, 污水处理能有效净化水质, 防止污染物进入水体, 维护水生态系统平衡, 保护土壤和空气不受污染, 保障人类和生物的用水安全。从可持续发展角度来讲, 合理处理污水能回收利用水资源, 减少对原生水资源的依赖, 为农业、工业等领域提供再生水, 缓解水资源短缺问题, 促进经济与环境的协调发展^[1]。

1 污水处理厂的运行现状

在传统污水处理厂的运行体系中, 人工操作仍是核心管理模式, 工艺调控高度依赖操作人员的经验判断与现场处置能力。核心处理工艺生化段的曝气调节、药剂投加量, 这种依靠“自主经验”的管理模式, 因操作人员经验不足、操作水平参差不齐、工作状态波动等因素, 普遍存在过度操作或调控滞后等问题。例如, 当进水负荷突然升高时, 常因员工的工作惰性或

响应延迟而导致生化池微生物活性下降, 直接影响活性污泥降解污染物效率, 甚至出水水质指标上升, 存在污染物超标风险^[2]。

污水处理厂因其特殊性质, 在高新技术应用存在一定的滞后性, 特别是先进自动化与智能化技术, 进一步影响了运行管理的精细化的推进。据某行业调研数据, 我国仍有超过 60% 的中小型污水处理厂未实现关键工艺参数的全流程自动控制, PLC 控制系统仅覆盖部分设备启停, 缺乏对水质水量变化的动态响应机制。以药剂投加环节为例, 多数厂区仍采用“经验值+定时定量”的投加模式, 未配套在线水质传感器与智能加药系统, 导致 PAC/PAM 等药剂浪费率高达 15% ~ 20%, 既增加了运行成本, 又可能因药剂残留引发二次污染风险。

上述问题直接导致传统污水处理厂面临显著的水质超标压力。在人工操作与粗放管理模式下, 出水 COD、氨氮、总磷以及总氮等指标波动频繁, 尤其在雨季或工业废水集中排放时

段, 超标风险呈指数级上升。与此同时, 超标排放不仅面临环保行政处罚, 还可能对受纳水体生态造成负面影响, 倒逼企业不得不投入额外成本进行应急处理, 形成“高风险-高成本”的恶性循环。而在“双碳”目标与生态环境精细化监管的双重压力下, 传统污水处理厂的现状已成为制约行业绿色转型的突出短板^[3]。

2 全过程管控的必要性

在全球气候变化加剧与生态文明建设深入推进的双重背景下, 中国污水处理行业正面临前所未有的转型压力。传统模式下的污水处理过程严重依赖员工的实践经验与操作水平, 人工调控的滞后性和主观性导致处理流程稳定性不足, 不仅可能引发水质波动风险, 还使得能耗、物耗长期处于高位运行状态。

随着“双碳”目标的深入推进, 污水处理行业作为高耗能产业, 面临着降低单位处理量碳排放、提升能源资源利用效率的紧迫任务; 而日益严格

的生态环境监管体系对出水水质稳定、污染物去除效率等都提出更高的刚性要求。

在传统污水处理模式下,工艺运行效果高度依赖操作人员的经验与水平,当前,污水成分复杂化、排放标准严苛化的趋势,使得传统“粗放式”管理模式难以适应新发展阶段的需求。一方面,人工操作难以实时响应水质水量的动态变化,容易造成药剂投加过量或不足、曝气效率与实际负荷不匹配等问题,既增加了运行成本,又可能导致碳减排目标落空;另一方面,在监管数字化、智能化升级的背景下,缺乏精细化过程管控的污水处理厂,难以满足实时监测、数据溯源和全流程可追溯的监管要求,面临更大的合规性压力^[4]。

加强污水过程精细化管理,既是破解传统管理模式痛点的关键手段,也是落实“双碳”目标、适应监管新常态的必然选择。通过引入智能传感技术、大数据分析和自动化控制系统,构建“数据感知—智能诊断—精准调控”的闭环控制体系,对污水处理全流程进行动态监控与精准调控,既能实现污染物去除效率与能源资源利用效率的协同提升,又能通过建立标准化、规范化的操作流程,有效降低人为因素导致的运行风险,为污水处理行业的绿色低碳转型和高质量发展提供坚实支撑。

3 全过程管控的提出

由于污水处理过程具有多变量强耦合、强非线性、参数变化快、工况变化频繁以及难于在线检测出水质量等特点,传统控制系统无法实现污水处理过程的优化控制、优化运行和优化管理,造成污水处理后出水排放指标波动大,整体处理成本高。污水处理过程控制成功实施,关键是控制系统的设计问题,即如何将污水处理过

程的操作运行和管理有机地和控制系统相集成,使其具备高度的自治性、灵活性和可靠性。

污水处理厂全过程管控系统(Full Process Control System,FPCS),是融合了自动化管理技术、计算机技术、物联通信技术及AI智能技术等先进技术手段的污水处理过程智慧化控制的复杂系统。FPCS依托于污水处理厂过程仪表,如溶解氧仪、ORP仪、水质检测仪,依据读取参数动态调整设备运行参数,使处理流程高效运行,实现各环节无缝衔接。具体包含智能加药控制方面,系统可根据水质检测仪数据精准调控加药量,既减少化学物质消耗,又提升处理效果。

根据不同水质处理过程的特征,FPCS能够进行相应的污水处理工艺分析与设计,通过智能化的控制方式实现对污水处理设备之间的连接,做到优化泵组控制,根据实际需求调整泵的运行状态,提升泵组的使用寿命,降低整体能耗。FPCS不仅能够提高水质排放的质量,还可以减少人工操作,降低劳动强度,避免人为失误,提高生产管理效率,确保污水处理厂安全、放心、稳定运行,改善各个城市经济发展的趋势,使水资源的高质量循环利用成为可能^[5]。

FPCS建立科学的碳源投加模型,结合实时监测数据动态调整投加量,通过PLC控制系统实现碳源投加的自动化和智能化,减少人工干预,同时

实时采集进水水质、水量及生化池运行参数,为投加模型提供准确数据支持,并根据出水水质反馈实时优化投加策略,确保反硝化过程高效进行及出水水质稳定达标,从而提高系统运行的稳定性和可靠性。

4 全过程管控的应用

南方沿海位于工业园区的某污水处理厂处理流程,如图1所示,设计处理水量30 000 m³/d,采用“CASS池+高效沉淀池+深床滤池+次氯酸钠消毒”主体处理工艺,因涉及园区工业废水处理厂进水水质、水量变化较大,以及CASS工艺限制,该污水处理厂运行难度和能耗居高不下,管理人员和操作人员压力较大^[6]。

经实际调研,主要由于CASS工艺的运行模式相对固定,对于水质和水量的突然变化适应性较弱,当进水总氮浓度突然升高或水质特性发生较大改变时,工艺的调整相对滞后,难以迅速适应新的工况,可能导致总氮去除效果出现明显波动,甚至超出排放标准。

另外,由于曝气和沉淀过程在同一池中进行,当曝气强度和时间控制不当时,容易出现污泥膨胀现象。污泥膨胀会导致污泥的沉降性能恶化,泥水分离困难,不仅影响出水水质,还会使污泥流失,进而影响生物处理系统的稳定性和总氮去除效果。CASS池反硝化过程需要充足的碳源来提供

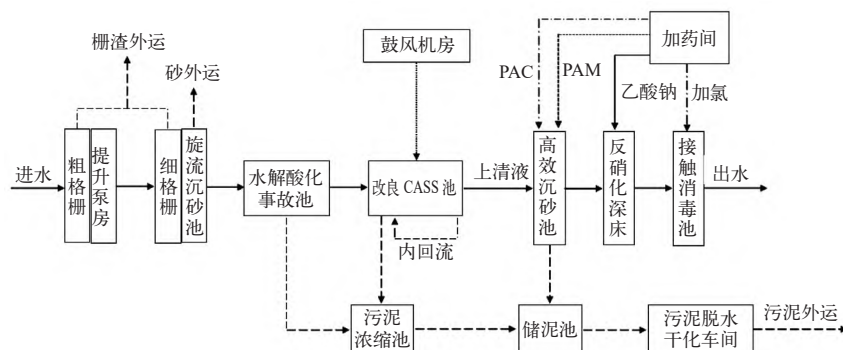


图1 污水处理厂流程图

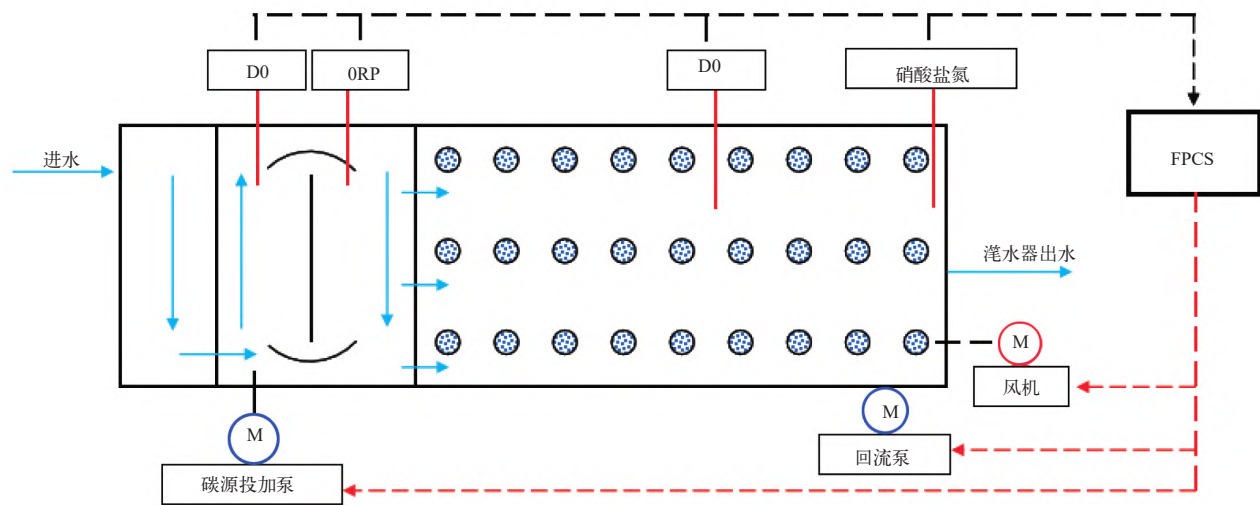


图2 改良CASS池FPCS应用详解

电子供体，以将硝酸盐氮还原为氮气。进水水质的波动可能导致碳源不足，尤其是当原水中可生物降解的有机物含量较低时，反硝化作用会受到抑制，进而影响总氮的去除效果。受限于CASS工艺以及进水水质水量变化，该污水处理厂为了保证出水达标排放，不得不维持高浓度的污泥、加大曝气量、延长流程时间和大量投加碳源。

鉴于污水处理厂的现状，我们针对CASS使用了FPCS通过智能化控制技术，实现碳源精准投加，优化CASS工艺的运行参数，提高反硝化过程的效率，能确保出水水质稳定达标，如图2所示。其中智能化的碳源投加系统，涵盖水质监测模块、数据处理模块、投加控制模块和反馈调节模块，并设计系统架构，明确各模块的功能和接口。实现数据采集、分析与投加控制的自动化，减少人工干预，提高污水处理厂的智能化管理水平，不仅能减少药剂浪费，还能降低人工成本，降低污水处理厂的运行成本^[7]。

FPCS应用后，该污水处理厂实现

根据进水水质、CASS池工况自主调节工艺参数和设备控制，通过试验验证和优化模型参数，确保其准确性和可靠性。实现了智能化操控，大大减少了人工操作带来的风险，碳源整体节省10%以上，出水总氮稳定达标^[8]。

5 结语

综上所述，传统污水处理厂面临诸多挑战，而全过程管控系统（FPCS）的应用展现出显著优势。通过在实际案例中的良好表现，证明其能有效解决现存痛点，提升污水处理效率与质量，降低运行成本，契合“双碳”目标及精细化监管要求。未来，污水处理行业应进一步推广此类先进管控系统，持续探索优化，以更好地推动行业绿色低碳转型，实现水资源的可持续利用与生态环境的良性发展^[9]。

参考文献

[1] 葛新东.污水处理控制与监控系统中的自动化设计实现[J].通信世界, 2019, 26(02): 270-271.

[2] 王汇明.乡村污水处理自动化监控管理系统设计[J].工程技术研究, 2018(06): 210-211+243.

[3] 王茜.污水处理厂自动化系统研发与设计[D].西安: 长安大学, 2016.

[4] 高峰.污水处理厂自动化控制系统的设计与实现[D].西安: 西安建筑科技大学, 2015.

[5] 吕玉凤.污水处理厂自动化监控系统的设计与优化运行研究[D].济南: 山东大学, 2014.

[6] 张俭.大型污水处理厂自动化系统的设计与应用[D].大连: 大连海事大学, 2013.

[7] 韩晶晶, 郭群凯.自动化监控系统在污水处理厂的应用[J].中国水运(下半月), 2008(10): 119-120.

[8] 赵立杰, 柴天佑, 黄肖玲.城市污水处理过程综合自动化系统及其应用[J].计算机集成制造系统, 2005(01): 138-144.

[9] 梁元, 郭科, 其其格, 等.污水处理厂自动化监控系统[J].工业安全与环保, 2003(12): 10-13.