

# 污水厂曝气池 DO 浓度闭环控制 PLC 程序开发与实证分析

吴建新

深圳市水务科技有限公司, 广东深圳, 518000;

**摘要:** 为实现污水厂曝气池内溶解氧(DO)浓度的稳定控制目标, 系统开展 PLC 程序开发工作, 并同步推进相关实证分析。首先, 明确 DO 浓度闭环控制的核心逻辑, 该逻辑涵盖 DO 浓度实时检测、检测信号高效传输、PLC 核心模块运算处理, 以及执行器精准调控四个关键环节。其次, 针对曝气池实际运行工况的特点, 对 PLC 程序内置的 PID 参数进行优化调整, 确保参数与工况需求高度适配。在实证分析阶段, 重点验证所开发 PLC 程序的响应及时性, 同时检验其控制过程的稳定性, 最终达成 DO 浓度的精准调控效果, 在有效降低曝气系统能耗的同时, 保障污水处理工艺的整体处理效果。

**关键词:** 污水厂; 曝气池; DO 浓度; 闭环控制; PLC 程序

**DOI:** 10.64216/3080-1508.26.01.049

## 引言

在污水处理工艺体系中, 曝气池内的 DO 浓度是影响污水处理效率的关键指标, 同时也是决定曝气系统能耗水平的核心因素。若 DO 浓度处于过高水平, 会造成曝气系统能耗的不必要浪费, 增加污水厂运行成本; 若 DO 浓度低于工艺要求标准, 则会导致污水中污染物的降解反应不彻底, 影响出水水质达标。传统的 DO 浓度人工调控方式, 存在明显的局限性, 难以实时应对曝气池运行过程中工况的动态变化, 无法实现 DO 浓度在全运行周期内的持续稳定控制。基于 PLC 技术构建的闭环控制体系, 具备自动检测与实时调控的核心优势, 能够有效解决人工调控方式存在的滞后性问题, 基于此, 开展 DO 浓度闭环控制 PLC 程序开发与实证分析, 具有重要的实践意义与技术价值。

## 1 核心内容

### 1.1 DO 浓度闭环控制 PLC 程序开发

第一步, 明确 DO 浓度闭环控制的整体流程, 该流程以 DO 传感器为数据采集起点, 传感器需对曝气池内的 DO 浓度进行实时采集, 获取连续的浓度信号。采集完成后, 需对原始浓度信号进行信号转换处理, 将其转换为 PLC 模块可识别的标准信号, 再将转换后的信号高效传输至 PLC 核心控制单元。第二步, 在 PLC 核心控制单元内部, 植入预设的 DO 浓度控制逻辑, 控制逻辑运行过程中, 依托 PID 算法对传输至 PLC 的 DO 浓度实际值与工艺设定值进行运算处理, 精准计算出两者之间的偏差数据。第三步, 根据 PID 算法运算得出的偏差数据,

PLC 核心控制单元生成对应的调控信号, 并将该信号输出至曝气风机这一执行器, 通过调控曝气风机的运行参数来改变曝气风量, 进而修正 DO 浓度偏差, 最终形成“浓度采集-信号传输-核心运算-执行调控”的完整闭环循环。

### 1.2 实证分析

首先, 依据 DO 浓度闭环控制的技术需求, 搭建对应的实证控制体系, 在该体系中, 需将 DO 浓度检测设备、PLC 核心控制模块, 以及曝气风机执行器进行精准对接, 确保各设备与模块之间的信号传输通道畅通。其次, 启动实证控制体系, 运行所开发的 PLC 程序, 对程序的整体运行状态进行全面测试。测试过程中, 重点验证三个方面内容: 一是 DO 浓度检测信号在传输过程中的准确性, 排查信号传输环节是否存在失真问题; 二是 PLC 核心模块对偏差数据的运算响应速度, 判断其是否满足实时调控需求; 三是当曝气池运行工况出现波动时, PLC 程序对 DO 浓度偏差的快速修正能力。通过上述测试, 综合判断 PLC 程序内置控制逻辑的合理性, 以及优化后的 PID 参数设置与曝气池工况的适配性, 确保整个调控过程中 DO 浓度无大幅波动, 维持稳定运行状态。

## 2 控制程序的优化与适配

### 2.1 工况适配性优化方向

曝气池在全运行周期内, 不同阶段的工况条件存在显著差异, 基于这一客观特征, 需明确 DO 浓度控制程序的针对性优化重点。当污水进水负荷出现升高趋势时, 核心优化方向聚焦于程序对 DO 浓度偏差的敏感识别能

力,通过在程序中强化偏差信号的放大与反馈逻辑,提升程序对负荷变化的快速感知能力,从而避免因进水负荷骤升而引发的 DO 浓度急剧下降问题。当污水进水负荷呈现降低态势时,优化重点则转向程序调控过程的平缓性,通过细化 PID 算法的调节步长,使曝气风量的调整逐步推进,防止因风量骤减或骤增而导致的 DO 浓度大幅波动,维持浓度处于工艺要求的稳定区间。与此同时,充分结合污水水质在运行过程中的动态变化规律,在 PLC 控制程序内部增设水质参数与 DO 浓度的关联逻辑模块。该模块可实现水质指标数据与 DO 浓度检测数据的联动调用,使 DO 浓度调控工作不再单一依托自身检测数据,还能结合水质变化趋势开展协同调控,进一步提升控制程序对复杂多变工况的整体适配度。

## 2.2 优化后的程序运行特性

经过上述工况适配性优化调整后,所开发的 DO 浓度控制 PLC 程序,在运行特性上呈现出两大核心优势,且各项特性均通过实际运行测试得到验证。一方面,程序的参数调节灵活性得到显著提升,其核心在于内置了 PID 参数自动微调逻辑,该逻辑可根据曝气池实时运行工况,自主判断参数调整需求并完成微调操作,整个过程无需工作人员介入修改程序底层代码,既减少了人工操作量,也大幅降低了程序运行维护的技术难度与时间成本。另一方面,程序的抗干扰能力实现有效增强,针对实际运行中可能出现的各类外部干扰,如电网电压临时波动、DO 传感器瞬时数据异常波动等情况,程序内部植入了多阶滤波逻辑。该逻辑可对传输至 PLC 的各类信号进行筛选与甄别,精准过滤无效干扰信号,仅保留有效检测与反馈信号,从而避免干扰信号引发的程序误调控行为,切实保障 DO 浓度控制过程的连续性与稳定性。

## 3 控制体系的能耗与效果协同分析

### 3.1 能耗管控逻辑的有效性

以实证分析阶段所获取的完整运行数据为核心依据,对 DO 浓度闭环控制体系内置的能耗管控逻辑进行系统性分析,明确其在能耗降低方面的实际有效性。该能耗管控逻辑的核心运行原理,是依托 PLC 控制程序对曝气风机的风量进行精准调控,通过实时匹配 DO 浓度需求调整风量大小,从根本上规避传统人工调控模式中普遍存在的“过量曝气”问题,使曝气风机始终运行在与当前 DO 浓度需求高度匹配的负荷区间内,最大限度

减少无效能耗的产生与浪费。与此同时,在 PLC 控制程序内部还植入了“间歇式精准曝气”专项逻辑,当系统检测到 DO 浓度已达到工艺设定标准,且曝气池整体运行工况保持稳定时,该逻辑会自动触发并调节曝气风机的运行频率,在确保 DO 浓度稳定的前提下,进一步降低风机运行负荷,最终实现单位污水处理量能耗的持续下降,达成能耗管控与 DO 浓度控制的同步推进、协同落地。

### 3.2 处理效果的协同保障

DO 浓度闭环控制体系在实现能耗有效管控的同时,并未以牺牲污水处理效果为代价,而是通过对 DO 浓度的稳定控制,为污水处理效果的达标提供协同保障,形成“能耗-效果”双向提升的运行格局。从反应环境层面来看,稳定的 DO 浓度能够为曝气池内微生物的生长与代谢提供适宜的生存环境,避免因 DO 浓度频繁波动导致微生物活性出现大幅下降,确保微生物降解污水中污染物的反应始终高效推进,减少污染物降解不彻底的情况。此外,在 PLC 控制程序中还预设了 DO 浓度安全阈值保护逻辑,该逻辑会实时监测 DO 浓度变化,当检测到浓度超出工艺规定的安全范围时,会立即触发声光预警信号,同时自动启动应急调控预案,快速调整曝气风量以修正 DO 浓度,防止因 DO 浓度长期异常影响污水出水水质,最终实现“能耗降低”与“处理效果达标”的双向平衡与协同保障。

## 4 技术应用的推广价值与注意事项

### 4.1 技术推广的核心价值

所构建的 DO 浓度闭环控制 PLC 技术,并非局限于单一场景应用,而是具备广泛的行业推广价值,其价值主要体现在设备适配性与操作便捷性两大核心维度,可满足不同场景下的应用需求。从设备适配性维度来看,该技术所开发的 PLC 控制程序,经过兼容性优化设计,可与市面上主流品牌、不同型号的 PLC 核心模块及 DO 检测传感器实现无缝对接,污水厂在引入该技术时,无需大规模更换现有曝气系统设备,仅需对原有设备进行简单调试与程序植入即可完成改造,大幅降低了污水厂的技术引入成本与设备改造周期。从操作便捷性维度来看,PLC 控制程序配套开发了可视化操作监控界面,工作人员通过界面可直观查看 DO 浓度实时变化曲线、程序运行状态参数、设备运行故障提示等关键信息,无需

掌握专业的 PLC 编程技能,即可完成日常运行监控与基础异常排查工作,能够充分适配小型、中型、大型等不同规模污水厂的运行管理需求,降低技术推广后的落地门槛。

## 4.2 应用过程中的注意事项

为确保 DO 浓度闭环控制 PLC 技术在实际应用中持续发挥作用,保障控制效果与运行稳定性,在技术应用全过程中,需重点关注两大核心注意事项,避免因操作或维护不当导致技术应用效果打折扣,同时需围绕两大核心事项细化执行标准与保障措施,确保每一项注意都能落地执行、不留隐患。第一大注意事项为定期对 DO 传感器开展校准与维护工作。DO 传感器作为 DO 浓度检测的核心设备,其检测精度直接决定了 PLC 程序接收数据的准确性,进而影响程序运算结果与后续调控指令的合理性,一旦传感器精度偏差超出允许范围,即便 PLC 程序逻辑再完善,也会出现“差之毫厘、谬以千里”的调控偏差,严重时可能导致 DO 浓度失控,影响污水处理效果或造成能耗浪费。因此需严格按照传感器设备说明书规定的维护周期,制定标准化维护流程:首先,在每次校准前,需提前将传感器从曝气池中取出,用专用清洁液擦拭探头表面,去除附着的微生物膜、污泥杂质,避免杂质遮挡探头影响检测精度;其次,采用标准 DO 浓度校准液进行两点校准,分别对应低浓度与高浓度标准值,确保传感器在全工艺浓度区间内均能精准检测;最后,校准完成后需将传感器重新安装回原位,进行至少 30 分钟的现场稳定测试,确认检测数据无漂移后,方可接入 PLC 控制系统恢复正常运行。此外,还需建立传感器维护台账,详细记录每次校准时间、校准人员、校准数据偏差、维护内容等信息,便于后续追溯与预判维护需求,避免因遗漏维护导致传感器精度下降。第二大注意事项为根据污水厂工艺升级需求,适时更新程序控制逻辑。随着污水处理行业标准升级、污水厂自身工艺调整(如新增深度处理单元、更换曝气设备类型)、出水水质标准提高等情况的出现,原有程序中的 DO 浓度设定值、PID 参数、安全阈值等核心内容可能不再适配新的工艺需求,若未及时更新,控制体系将无法满足不同工艺的运行要求,甚至可能与新工艺产生冲突。因此,在工艺升级前,需组织技术人员开展程序适配性评估,明确需调整的核心参数与逻辑模块;工艺升级过程中,需

同步对 PLC 程序进行修改与调试,先在离线模拟环境中测试修改后的程序,验证其与新工艺的适配性,避免直接在线修改导致系统停机;工艺升级完成后,需进行至少 72 小时的连续试运行,实时监测 DO 浓度控制效果、设备运行状态及能耗数据,若发现调控偏差或运行异常,及时微调程序参数,直至程序完全适配新工艺。同时,建立程序更新档案,记录每次更新的背景、修改内容、调试数据及最终效果,为后续同类工艺升级的程序调整提供参考,确保技术应用始终与污水厂实际工艺需求保持匹配,持续发挥其控制与节能作用。此外,还需建立定期巡检机制,每季度对程序运行日志与传感器数据进行交叉核验,及时发现潜在的精度偏差或逻辑适配问题,做到早预警、早处理。通过标准化维护、动态更新与定期巡检的协同推进,确保整套控制体系长期稳定运行,持续发挥节能与提质双重效益,为污水厂稳定运行提供保障。

## 5 结语

通过系统性开展 DO 浓度闭环控制 PLC 程序的开发工作,成功构建起一套针对曝气池 DO 浓度的闭环控制体系。该闭环控制体系依托 PLC 程序的自动运行能力,能够实现对曝气池内 DO 浓度的自动化调控,同时保障调控过程的精准度,有效规避传统人工调控方式中存在的滞后性、主观性及稳定性不足等诸多弊端。在前期 PLC 程序开发的基础上开展的实证分析,所获取的实证结果进一步对该程序的实际运行可行性进行了验证,同时也充分确认了程序在长期运行过程中的控制稳定性。该套 PLC 程序及对应的闭环控制体系,为污水厂曝气系统的节能降耗工作提供了切实可行的技术路径,同时也为污水处理工艺整体处理效果的提升奠定了基础,形成有力的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 邓长久, 聂基础, 胡昊, 李徽. 基于 PLC 的干式磁选机控制系统设计与应用[J]. 自动化与仪表, 2024, (12): 133-137.
- [2] 常镭民. 基于 PLC 的数控钻床控制系统设计[J]. 机械研究与应用, 2024, (06): 82-84.
- [3] 徐黎, 杨扬, 吴琼. 基于 PLC 的光纤着色机控制系统[J]. 工业控制计算机, 2024, (12): 137-139.