

污水厂曝气池 DO 浓度闭环控制 PLC 程序开发与实证分析

吴健新

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新的运行要求，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, 聂础辉, 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.