

一体化污水处理设备的智能电气系统设计 与物联网监控平台开发

陈建成

(福瑞莱环保科技(深圳)股份有限公司, 广东 深圳 518055)

摘要: 该文为解决传统一体化污水处理设备运行效率低、监控不及时、运维成本高等问题, 开展了基于一体化污水处理设备的智能电气系统设计与物联网监控平台开发研究。在对一体化污水处理设备进行简单介绍后, 结合智能控制技术与物联网技术, 重点进行基于一体化污水处理设备的智能电气系统设计和物联网监控平台开发。通过系统测试, 说明基于一体化污水处理设备的智能电气系统与物联网监控平台设计的有效性, 以期为污水处理行业的可持续发展提供技术保障, 进一步提升一体化污水处理设备的运行效率、可靠性与智能化水平。

关键词: 一体化污水处理设备; 智能电气系统; 物联网监控平台

中图分类号: TP273

文献标识码: A

DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2026.03.012

中文引用格式: 陈建成. 一体化污水处理设备的智能电气系统设计与物联网监控平台开发 [J]. 集成电路应用, 2026, 43(3): 60-64.

英文引用格式: Chen Jiancheng. Design of intelligent electrical system for integrated wastewater treatment equipment and development of IoT monitoring platform [J]. Application of IC, 2026, 43(3): 60-64.

Design of intelligent electrical system for integrated wastewater treatment equipment and development of IoT monitoring platform

Chen Jiancheng

(Forigin Decentralized Water Treatment Co., Ltd., Shenzhen 518055, China)

Abstract: To address issues of low operating efficiency, untimely monitoring, and high operation and maintenance cost in traditional integrated wastewater treatment equipment, this study conducts intelligent electrical system design and the development of an Internet of Things (IoT) monitoring platform for integrated wastewater treatment equipment. After a brief introduction to integrated wastewater treatment devices, it combines intelligent control technology with IoT technology, focusing on the design of an intelligent electrical system for integrated wastewater treatment equipment and the development together with the design of an IoT-based monitoring platform for such equipment. Through system testing, the effectiveness of the intelligent electrical system and IoT monitoring platform design based on integrated wastewater treatment equipment is demonstrated. It is hoped to provide technical support for the sustainable development of the wastewater treatment industry and further improve the operating efficiency, reliability, and level of intelligence of integrated wastewater treatment equipment.

Key words: integrated sewage treatment equipment; smart electrical system; IoT monitoring platform

0 引言

近年来, 我国城市化进程不断加快, 工业生产与居民生活产生的污水排放量持续增长, 这使得对污水处理的需求日益迫切。一体化污水处理设备因具有占地面积小、安装便捷、处理效率高等优势, 正在被广泛用于中小城镇、工业园区及农村社区等场景中^[1]。但传统一体化污水处理设备的电气系统多采用人工现

场控制模式, 运行状态还需要人工巡检来实现, 因此无法实时掌握液体、流量、溶解氧浓度等设备运行参数, 容易导致处理效果不稳定, 故障发现不及时, 而造成故障处理比较滞后、设备损坏或污水超标排放^[2]等问题。尤为关键的是, 传统模式下缺乏远程监测与控制功能, 无法实现对设备运行状态的远程实时监控和操作干预, 也不支持运行参数的远程修改, 如

当处理水质出现波动时，运维人员需赶赴现场才能调整溶解氧设定值、药剂投加比例、水泵启停阈值等关键参数，这不仅耗时费力，更会错过最佳调控时机。此外，由于缺乏统一的监控管理平台，难以实现多设备协同运行与远程运维。为此，开发基于一体化污水处理设备的智能电气系统设计与物联网监控平台很有必要。

1 一体化污水处理设备介绍

一体化污水处理设备是一种将污水处理工艺中的预处理、生化处理、沉淀、消毒等单元集成于一体的成套污水处理设备，具有结构紧凑、占地面积小、安装方便、运行稳定等特点，广泛应用于生活污水、工业废水处理等^[1]。主要由以下五个部分组成：（1）预处理单元：包括格栅、调节池等。格栅用于去除污水中的大颗粒杂质、悬浮物等，防止后续设备堵塞；调节池用于调节污水的水量 and 水质，使污水均匀进入后

续处理单元，保证处理系统的稳定运行。（2）生化处理单元：通常采用生物接触氧化法、MBR（膜生物反应器）等工艺。该单元是污水处理的核心部分，通过微生物的代谢作用，将污水中的有机物、氮、磷等污染物降解去除。（3）沉淀单元：用于分离生化处理后的泥水混合物，使上清液进入后续消毒单元，污泥则定期排出进行处理。（4）消毒单元：采用紫外线消毒、二氧化氯消毒等方式，杀灭污水中的病原微生物，确保处理后的污水达标排放。（5）辅助系统：包括曝气系统、搅拌系统、加药系统、污泥处理系统等，为污水处理过程提供必要的条件支持。

2 一体化污水处理设备的智能电气系统设计

2.1 系统总体架构

智能电气系统采用“硬件层—驱动层—操作系统—应用层”四层架构，可实现设备运行状态监测、智能控制与执行动作联动，架构如图 1 所示^[3]。

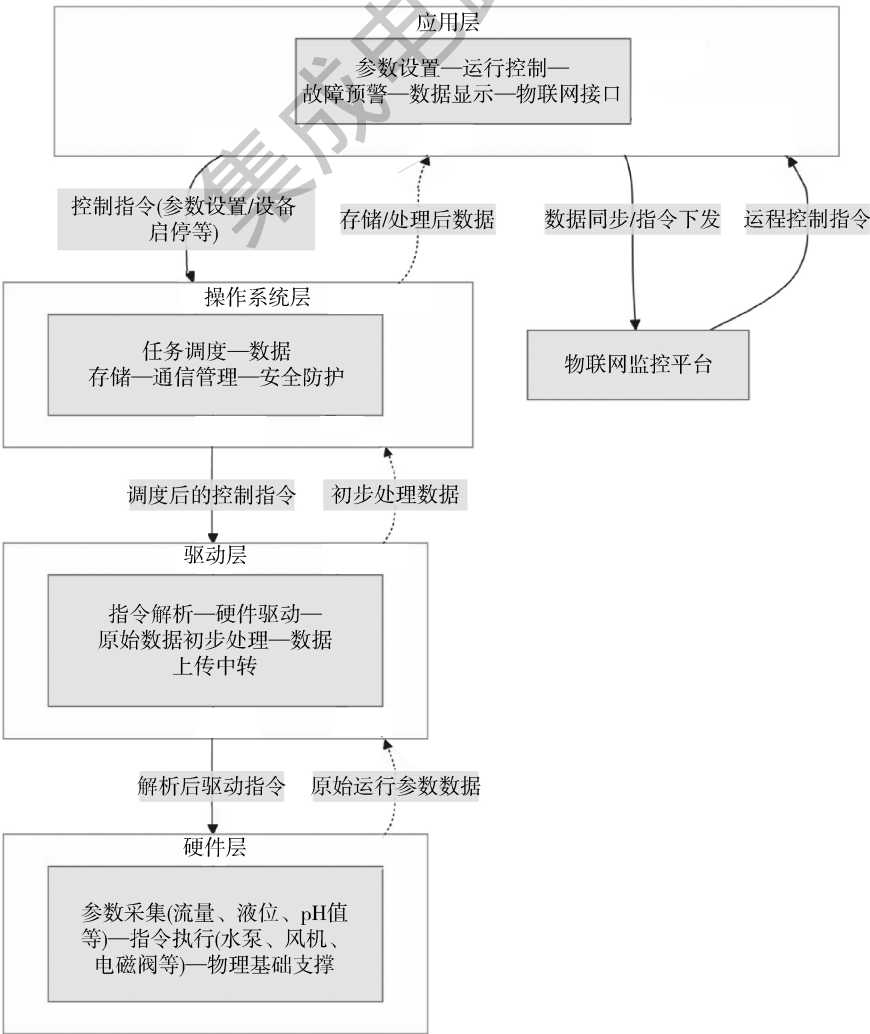


图 1 智能电气系统总体架构

(1) 硬件层。系统的物理基础,负责采集设备运行参数(如流量、液位、pH 值、溶解氧浓度等)、执行控制指令(如水泵启停、风机转速调节、电磁阀开关等),为整个系统提供数据支撑与执行能力。

(2) 驱动层。连接硬件层与操作系统层的桥梁,负责解析操作系统层下发的控制指令,驱动硬件设备正常运行;同时采集硬件层的原始数据,进行初步处理后上传至操作系统层,确保数据传输的准确性与及时性。

(3) 操作系统层。系统的核心调度中心,采用嵌入式操作系统(如 Linux),负责任务调度、数据存储、通信管理与安全防护,协调各层之间的工作,确保系统高效、稳定运行。

(4) 应用层。面向用户与运维人员,提供参数设置、运行控制、故障预警、数据显示等功能,实现对电气系统的可视化操作与管理,同时为物联网监控平台提供数据接口。

2.2 硬件设计要点

硬件设计需满足稳定性、抗干扰性及模块化要求,关键设计要点如下:

2.2.1 传感器选型

(1) 水质传感器:采用工业级 pH 传感器(测量范围 0~14,精度 ± 0.1)、荧光法 DO 传感器(测量范围 0~20 mg/L,响应时间小于 30 s),适应污水复杂环境;

(2) 运行参数传感器:电磁流量计(测量范围 0~100 m³/h,精度 $\pm 0.5\%$)、电流互感器(测量范围 0~50 A,输出 4~20 mA)。

2.2.2 控制核心

选用西门子 S7-1200 系列 PLC,支持数字量/模拟量输入输出(I/O 点数 32 入/32 出),集成 PROFINET 通信接口,满足实时控制与数据传输需求;配置 7 英寸触摸屏作为本地操作界面,实现参数设置与状态显示。

2.2.3 执行元件驱动

水泵、风机采用变频控制器(支持 0~50 Hz 调速),通过 PLC 模拟量输出(4~20 mA)调节转速;加药泵采用步进电机驱动,通过脉冲信号控制加药量精度(误差 $<1\%$)。

2.2.4 抗干扰设计

传感器线缆采用屏蔽线并单独穿管敷设,与动力线间距大于 30 cm;PLC 电源配置隔离变压器(容量 500 VA),接地电阻小于 4 Ω ,减少电磁干扰。

2.3 软件系统实现

软件系统包括 PLC 控制程序与本地人机交互界面设计的实现。

2.3.1 PLC 控制逻辑

(1) 主程序:循环采集传感器数据,执行控制算法,输出执行指令,周期 100 ms;

(2) 控制算法:以 DO 值为例,采用 PID 调节风机转速(目标 DO=2 mg/L),公式为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

其中, $K_p = 5.0$, $T_i = 60$ s, $T_d = 5$ s,通过现场调试优化参数。

2.3.2 保护逻辑

当检测到电机电流大于额定电流的 120%、pH 值小于 5 或大于 9 时,触发报警并自动停机,避免设备损坏。

2.3.3 本地界面设计

(1) 触摸屏界面包括:主监控界面实时显示 DO、pH、流量等参数及设备运行状态(如图标颜色区分运行/停止);

(2) 参数设置界面:可修改 PID 参数、目标值(如 DO 设定值);

(3) 报警记录界面:存储近 100 条报警信息(时间、类型、处理状态)。

3 一体化污水处理设备的物联网监控平台开发

3.1 平台总体架构

基于一体化污水处理设备的物联网监控平台采用“云-边-端”架构,实现一体化污水处理设备的远程监控、数据管理与智能运维^[4],基本架构如图 2 所示。

(1) 边缘层:通过具有能支持 4G、Wi-Fi 或有线的智能网关,对智能电气系统采集的设备运行参数与状态信息进行数据采集,如每 30 s 上传一次至云端,支持断点续传,并且视频监控设备可以实时查看现场设备外观与周边环境,实现“数据+图像”的全方位感知,同时还能支持 PLC 程序上传、下载和监控,支持数据转发对接第三方平台,接收云端层下发的远程控制指令,解析后转发至智能电气系统,实现设备的远程控制。将智能电气系统的执行反馈信息上传至云端层,形成闭环控制,提供远程运维方案。当云端通信中断时,边缘网关可独立运行,根据本地预

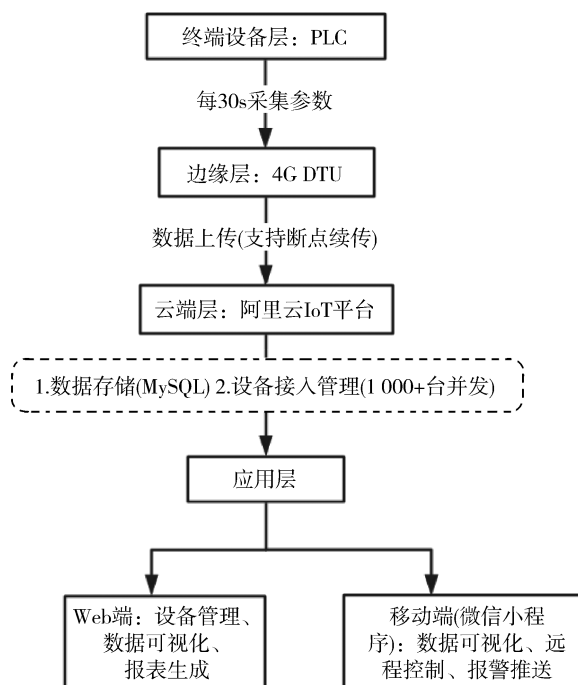


图2 物联网监控平台总体架构示意图

设的控制策略,实现设备的本地自动控制,确保污水处理过程不中断。对本地发生的故障进行初步处置如设备紧急停机、声光报警,并记录故障信息,待通信恢复后上传至云端。

(2) 云端层:采用阿里云 IoT 平台,实现数据存储,如采用 MySQL 数据库存储设备运行数据,包括实时数据和历史数据以及故障数据、用户数据等。设备接入管理(支持 1 000+台设备并发),从而实现设备与平台、平台与应用层的实时数据交互。

(3) 应用层:包括 Web 端与移动端(如微信小程序)两种访问方式,提供数据可视化、远程控制、报警推送功能。如 Web 端支持多用户同时在线操作,具备设备管理(如设备启停控制、参数配置)、数据可视化、报表生成等功能。移动端支持 Android 和 iOS 系统,用户可以通过手机或平板电脑随时随地查看设备运行状态、接收故障报警信息,实现远程监控与便捷管理。

3.2 平台搭建

3.2.1 云端配置

(1) 设备接入:在阿里云 IoT 平台创建产品(“一体化污水处理设备”);定义物模型,其中属性包括 pH 值(float)、DO 值(float);服务包括远程启停泵(布尔型)。

(2) 数据存储:通过规则引擎将设备数据同步至 MySQL 数据库,表结构如表 1 所示。

表1 设备运行数据表结构

字段名	类型	描述
device_id	VARCHAR (20)	设备唯一标识
collect_time	DATETIME	数据采集时间
ph_value	DECIMAL (3, 1)	pH 值
do_value	DECIMAL (3, 1)	溶解氧值 (mg/L)
pump_status	TINYINT	水泵状态 (1=运行, 0=停止)

3.2.2 Web 端开发

采用 Vue.js 框架开发前端, Spring Boot 开发后端, 实现数据可视化 (ECharts 图表) 与远程控制接口 (RESTful API)。

3.2.3 移动端开发

基于微信小程序开发,通过调用阿里云 IoT 平台 API 获取设备数据,支持报警消息实时推送。

3.3 平台功能实现

3.3.1 实时监控

Web 端显示设备运行基本情况,如相关运行参数,移动端显示关键参数情况,运维人员可以实时了解设备运行情况。

3.3.2 远程控制

支持远程启停水泵、调节加药泵频率(权限分级:管理员可操作,运维人员仅查看),控制指令通过平台加密传输至 PLC。

3.3.3 报警管理

当参数超限时,平台触发三级报警:

(1) 一级(预警): DO 值大于 2.5 mg/L,推送至小程序;

(2) 二级(告警): pH 小于 5.5,推送小程序和短信;

(3) 三级(紧急):电机过流、自动停机并且多渠道推送。

3.3.4 数据分析

生成日/月运行报告,统计能耗(如风机日耗电量)、药剂消耗量,通过趋势分析优化运行策略(如调整加药周期)。

4 系统测试

4.1 电气系统测试

4.1.1 功能测试

在实验室模拟污水环境 (pH=7.0, DO=1.5 mg/L),测试结果如表 2 所示:

(1) 加药泵控制：设定加药量 5 L/h，实际值 4.95 L/h，误差 1%；

(2) PID 调节：DO 目标值 2 mg/L，稳定后波动范围 1.9~2.1 mg/L，满足设计要求。

表 2 电气系统功能测试结果

测试项	设定值	实测值	误差
加药泵流量	5 L/h	4.95 L/h	1%
DO 稳定值	2 mg/L	1.9~2.1 mg/L	0.1 mg/L

4.1.2 稳定性测试

连续运行 72 小时，传感器数据采集成功率 99.8%，PLC 控制指令响应时间小于 500 ms，无异常停机。

4.2 物联网监控平台测试

4.2.1 数据传输测试

设备端与云端数据同步延迟小于 3 s，断网后重新连接时，未上传数据（最多 10 条）可自动补传，完整性 100%。

4.2.2 远程控制测试

边缘网关实时采集智能电气系统上传的设备运行数据，如流量、液位、pH 值、溶解氧浓度、设备运行状态、电流、电压等，经预处理后上传至云端层，云端层将数据实时推送至 Web 端与移动端 App，通过数字、图表（如折线图、柱状图、仪表盘等形式）可视化展示，便于用户直观了解设备运行状态。另外，实时监测水泵、风机、电磁阀等设备的运行状态（运行、停止、故障），通过不同颜色标识（绿色：运行；灰色：停止；红色：故障），用户可快速识别设备状态，并显示设备运行参数（如水泵转速、风机频率、电磁阀开关状态等），便于细节查看。远程发送“水泵启

停”指令，执行响应时间小于 2 s，操作记录在平台日志中可追溯。

4.2.3 报警测试

模拟 pH=4.0（超下限），平台 10 s 内推送报警至小程序与管理员手机，报警准确率 100%。

5 结论

本研究设计的智能电气系统与物联网监控平台，能够实现一体化污水处理设备的参数自动采集、智能控制与远程管理。测试结果表明，系统运行稳定，DO 值控制精度可以达到±0.1 mg/L，数据传输延迟小于 3 s，满足污水处理智能化需求。未来可进一步优化控制算法，如引入机器学习预测水质变化，并扩展设备集群管理功能，从而不断提升污水处理效率与运维水平。

参考文献

[1] 邱勇军, 张玉峰, 杨永前, 等. 移动式一体化生活污水处理设备的应用进展[J]. 净水技术, 2023, 42 (11): 27-36, 66.

[2] 王胜, 何森, 刘芳, 等. 分散生活污水处理一体化设备 (MBR) 电控设计与应用[J]. 广州化工, 2023, 51 (9): 138-140, 146.

[3] 蔡振江. 一种标准一体化污水处理设备电气控制系统[J]. 科技风, 2022(7): 10-13, 39.

[4] 刘志成, 史蓓, 陈飞. 一种农村生活污水处理一体化设备远程监控系统的设计[J]. 乡村科技, 2022, 13 (16): 155-158.

(收稿日期: 2026-01-20)

作者简介:

陈建成 (1997-) 男, 本科, 助理工程师, 主要研究方向: 工业自动化电气系统设计与项目实施。

版权声明

凡《集成电路应用》录用的文章，如作者没有关于汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权等版权的特殊声明，即视该文章署名作者同意将该文章的汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权授予本刊，本刊有权授权本刊合作数据库、合作媒体等合作伙伴使用。同时，本刊支付稿酬已包含上述使用的费用，特此声明。

《集成电路应用》编辑部