

基于PLC的脉冲袋式除尘器控制系统的改造

薛世军

河南开祥精细化工有限公司 河南 义马 472300

摘要：随着工业自动化技术的不断发展，传统脉冲袋式除尘器的控制系统已难以满足现代生产的需求。本文提出了一种基于可编程逻辑控制器（PLC）的控制系统改造方案，旨在提高除尘效率、降低能耗和故障率。改造后的系统实现了智能控制、远程监控和故障预警等功能，显著提升了设备的稳定性和可靠性，为工业生产的绿色发展提供了有力支持。

关键词：基于PLC；脉冲袋式除尘器；控制系统；改造

引言：在现代工业生产中，脉冲袋式除尘器扮演着至关重要的角色，其性能直接影响到生产环境的质量和员工的健康。然而，传统除尘器控制系统存在的控制不精确、能耗高等问题日益凸显。为应对这一挑战，本文将探讨基于可编程逻辑控制器（PLC）的脉冲袋式除尘器控制系统改造方案，旨在提高除尘效率，降低能耗，为工业生产提供更加可靠、高效的除尘解决方案。

1 脉冲袋式除尘器的工作原理及现状

1.1 脉冲袋式除尘器的基本结构

脉冲袋式除尘器的核心部件协同构成高效除尘体系。滤袋作为过滤核心，采用涤纶或芳纶等耐温滤料制成圆筒状，悬挂于滤袋室内，其纤维孔隙可截留不同粒径粉尘。脉冲阀是清灰动力源，多为直角式或淹没式，能瞬间释放压缩空气形成喷吹气流。清灰系统包含气包、喷吹管等，气包储存压缩空气，喷吹管将气流均匀导向各滤袋顶部。风机提供负压动力，将含尘气体吸入设备，过滤后的洁净气体经其排出。此外，还包括箱体、灰斗等辅助结构，形成完整除尘流程。

1.2 工作原理

（1）过滤阶段：含尘气体在风机负压作用下进入箱体，气流穿过滤袋时，粉尘被截留于滤袋外表面，洁净气体透过滤袋进入袋室，最终由风机排出。随过滤时间延长，滤袋表面积尘增加，阻力逐渐上升。（2）清灰阶段：当滤袋阻力达预设值（通常1.2-1.5kPa），控制系统触发清灰。脉冲阀瞬间开启，气包内压缩空气经喷吹管高速喷入滤袋，形成的冲击波使滤袋剧烈膨胀振动，附着的粉尘脱落至灰斗，随后脉冲阀关闭，滤袋恢复过滤状态。

1.3 现有控制系统分析

（1）现有控制系统多为继电器或简易单片机控制。优点是结构简单、初期成本低，适用于小型工况。但缺

点显著：控制精度低，清灰参数固定，易出现清灰过度或不足；可靠性差，继电器触点易老化，年均故障3-5次；功能单一，缺乏状态监测，依赖人工巡检。（2）PLC改造具有必要性与可行性。必要性体现在：环保标准提升要求稳定达标排放；设备大型化需精准控制降低能耗。可行性在于：PLC技术成熟，支持模块化扩展，可直接对接现有传感器；改造成本可控（中小型设备约2-3万元），且能减少80%故障停机时间，6-8个月可收回成本，适配未来智能化升级需求。

2 PLC 控制系统的设计

2.1 PLC选型及硬件配置

（1）PLC型号选择依据。PLC型号需结合除尘器规模与控制需求确定。中小型设备（滤袋数量 < 80）可选用三菱FX3U系列，其性价比高，支持128点I/O扩展，满足基础控制；大型设备（滤袋 ≥ 80）宜选西门子S7-1200，具备高速处理能力与PROFINET通信功能，适配多组脉冲阀协同控制。同时需考虑环境因素，高温工况下优先选择宽温型PLC（工作温度-25~70℃），粉尘环境需搭配防尘外壳。（2）输入/输出模块配置。输入模块需接入：滤袋差压传感器（2路4-20mA模拟量）、灰斗料位开关（4路数字量）、急停按钮（2路数字量）。输出模块配置：16路脉冲阀驱动（DC24V数字量）、风机启停接触器（AC220V继电器输出）、声光报警器（2路数字量）。典型配置预留30%冗余，如100滤袋系统配2路模拟量输入模块、8路数字量输入模块、24路数字量输出模块，便于后期扩展^[1]。（3）传感器与执行器选择。传感器选用高精度器件：差压传感器选MPM480系列（量程0-6kPa，精度±0.2%），实时监测滤袋阻力；料位传感器用射频导纳式，避免粉尘粘附影响检测；风机轴承温度传感器采用K型热电偶（-50~300℃）。执行器方面，脉冲阀选DMF-Z型淹没式（响应时间 < 0.1s），确保清灰力度；风机控制

配施耐德LC1D系列接触器,带热过载保护。

2.2 控制程序设计

(1) 梯形图程序设计。主程序采用模块化结构,包含初始化模块(参数复位、I/O检测)、运行控制模块(过滤/清灰切换)、故障处理模块。梯形图逻辑通过触点串联/并联实现:例如差压信号 $> 1.2\text{kPa}$ 时,触发清灰标志位;定时器设定脉冲喷吹时长(0.2s),计数器记录喷吹次数,防止滤袋过度损耗。(2) 清灰控制逻辑设计。采用“差压优先+定时备用”控制:差压 $> 1.5\text{kPa}$ 时启动清灰,按“先里后外”顺序分组喷吹(每组5个脉冲阀,间隔3s);若2小时内差压未超标,触发定时清灰。程序加入防干扰设计,喷吹时屏蔽差压信号,避免误判;同一滤袋清灰间隔 ≥ 1 分钟,保护滤袋寿命。(3) 风机控制与故障保护设计。风机启动前执行自检:料位未超限、滤袋门关闭时允许启动,否则锁存报警。运行中监测电流($> 110\%$ 额定值)、温度($> 140^\circ\text{C}$),触发故障时立即停机,同时关闭脉冲阀。设计连锁逻辑:清灰系统故障时,风机降频至50%运行;风机停机后,自动开启旁路阀。

2.3 人机界面设计

(1) 基于组态软件的人机界面开发。采用昆仑通态MCGS组态软件,开发三级界面:主监控界面(设备整体运行状态)、参数设置界面(清灰参数调整)、历史数据界面(运行曲线查询)。通过动画连接功能,使滤袋状态、风机转速等参数动态显示,直观反映设备工况。(2) PLC与上位机的通信实现。采用Modbus-RTU协议,通过RS485接口实现通信,波特率设为9600bps,数据位8位,停止位1位。PLC侧配置Modbus从站程序,将运行参数存入保持寄存器;上位机通过组态软件的Modbus驱动,定时读取寄存器数据(刷新周期1s),实现数据同步。(3) 界面功能设计。状态监控:实时显示滤袋差压、风机电流、清灰倒计时等参数,用不同颜色标注正常/异常状态;报警显示:分级显示故障(红色紧急/黄色警告),附带故障原因与处理建议,支持报警记录查询;参数设置:管理员权限可修改清灰周期(10-60min)、脉冲宽度(0.1-0.5s)等参数,修改后自动保存至PLC掉电保持区。

3 基于 PLC 的脉冲袋式除尘器控制系统改造实施与调试

3.1 系统改造方案制定

(1) 改造步骤与时间表。改造分五个阶段推进,总周期12天。准备阶段(1-2天):完成旧系统拆解、线路测绘及安全评估,办理停电许可。硬件部署阶段

(3-5天):安装PLC控制柜、传感器定位固定及管路改造。接线阶段(6-7天):完成设备间线路连接与绝缘测试。软件调试阶段(8-10天):程序下载、参数配置及功能验证。试运行阶段(11-12天):满负荷运行测试,记录关键数据并优化。各阶段设置2小时交叉检查节点,确保工序衔接无误。(2) 所需材料与工具准备。核心材料包括西门子S7-1200PLC主机1台、模拟量模块2块、数字量I/O模块各2块,16路脉冲阀组(含气包)1套,差压传感器(0-5kPa)2个,10寸触摸屏1台;辅材需RVV电缆(2.5mm^2)30米、屏蔽双绞线50米、端子排80个、线槽20米及防水接头20个。工具准备万用表、示波器、剥线钳、扭矩扳手($8-10\text{N}\cdot\text{m}$)、编程电缆及预装STEP7软件的笔记本电脑,另备临时电源($380\text{V}/5\text{kW}$)供调试使用。

3.2 硬件安装与接线

(1) PLC及输入输出设备的安装。PLC控制柜采用落地安装,固定于除尘器侧面1.2米处,柜底距地面30cm防积水。柜内布局:上层安装PLC及扩展模块,中层为端子排,下层放置接触器与电源模块,确保强弱电分区。传感器安装需精准:差压传感器取压口与滤袋前后腔连通,水平安装避免积液;灰斗料位计垂直嵌入侧壁,探头距内壁 $\geq 20\text{cm}$ 防干扰。脉冲阀组固定于滤袋室顶部,喷吹管与滤袋中心对齐,误差 $\leq 5\text{mm}$ 。(2) 系统接线图与接线规范。接线图采用EPLAN绘制,标注线号、端子号及线缆型号。强电回路(风机、接触器)用黑色电缆,弱电信号(传感器、PLC)用彩色区分(模拟量用蓝色,数字量用黄色)。接线遵循“一孔一线”原则,导线剥头长度8-10mm,压接端子后需做拉力测试($\geq 5\text{N}$)。模拟量线单独穿金属管屏蔽,两端接地;脉冲阀控制线套波纹管防护,弯曲半径 ≥ 10 倍线径。所有接线完成后用500V兆欧表测试绝缘电阻, $\geq 10\text{M}\Omega$ 为合格^[2]。

3.3 软件调试与测试

(1) 程序下载与上传。通过PROFINET电缆连接PLC与电脑,在TIAPortal中创建项目,核对硬件组态与实际模块型号一致后,执行“编译并下载”。下载完成后进行程序上传校验,确保无数据丢失。启用在线监控功能,实时查看I/O点状态与内部变量值,记录初始参数(如清灰间隔30min、脉冲宽度0.2s)。(2) 系统功能测试。清灰测试:手动触发清灰程序,观察脉冲阀依次动作(间隔2s),用差压计监测阻力变化,单次清灰后阻力应下降 $\geq 40\%$ 。风机测试:模拟启动信号,确认接触器吸合正常,通过触摸屏调节频率(30-50Hz),电流波动应 $\leq 5\%$ 。连续运行4小时,滤袋阻力稳定在0.8-1.2kPa为

合格^[3]。(3)故障模拟与报警测试。模拟传感器断线:断开差压信号,系统应在2s内触发“E01传感器故障”报警,触摸屏显示红色提示并启动声光报警。模拟风机过载:短接热继电器触点,PLC立即切断风机电源,同时闭锁脉冲阀并记录故障时间。所有故障测试重复3次,确保报警响应准确,复位后系统恢复正常运行。

4 基于 PLC 的脉冲袋式除尘器控制系统改造效果评估与优化

4.1 改造前后对比分析

(1)除尘效率提升情况。改造前,传统控制系统依赖固定清灰周期,常出现滤袋积灰过度或清灰不足的问题,除尘效率波动较大(85%-92%)。改造后,PLC根据滤袋实时差压动态调整清灰参数,当阻力超过1.2kPa时立即启动清灰,确保滤袋始终保持最佳过滤状态。实测数据显示,改造后除尘效率稳定在98%以上,排放浓度从改造前的50-80mg/m³降至15mg/m³以下,完全满足国家超低排放标准。(2)设备故障率降低情况。原有继电器控制系统因触点老化、接线松动等问题,月均故障2-3次,单次维修耗时2-4小时。PLC系统采用模块化设计,减少80%的接线点,且具备故障自诊断功能。改造后连续运行6个月,仅发生1次脉冲阀卡涩故障(由异物堵塞引起),系统在10秒内自动报警并定位故障点,维修时间缩短至30分钟内,设备综合故障率下降90%以上。(3)操作便捷性与维护成本变化。改造前需人工记录运行数据、手动切换清灰模式,操作步骤繁琐且易出错。人机界面投入使用后,操作人员可通过触摸屏完成参数设置、状态监控等操作,培训时间从3天缩短至1天。维护方面,PLC系统支持在线查看历史故障记录,备件更换可通过模块插拔完成,年维护成本从2万元降至0.8万元,降幅达60%。

4.2 系统优化建议

(1)参数动态调整。根据不同季节(如冬季湿度高易结露)和工况负荷变化,建议在PLC程序中增加自适应

算法:当粉尘浓度超过设定值15%时,自动缩短清灰间隔10%;环境温度低于5℃时,延长脉冲喷吹时间至0.3s,防止滤袋结霜堵塞。每季度通过数据分析优化参数阈值,进一步提升系统适配性。(2)扩展远程监控功能。利用PLC的以太网接口接入工厂MES系统,开发手机APP监控模块,实现运行数据(如滤袋阻力、风机电流)实时推送、异常报警短信提醒。增加数据存储功能(保留1年历史曲线),通过趋势分析预判滤袋寿命,提前制定更换计划,避免突发停机^[4]。(3)预留升级空间。硬件上预留2个模拟量输入和8个数字量输出口,便于后期增加温湿度传感器、自动卸灰阀等设备。软件采用标准化编程架构,支持与物联网平台对接,为未来接入智慧工厂管理系统奠定基础。选用兼容PROFINET和Modbus协议的部件,确保与其他设备的互联互通。

结束语

通过PLC对脉冲袋式除尘器控制系统的改造,不仅显著提升了除尘效率与设备稳定性,还大幅降低了操作难度与维护成本。改造后的系统实现了智能化控制,能够根据工况动态调整清灰策略,确保了长期高效运行。未来,我们将持续优化系统功能,探索远程监控与物联网应用,为企业的环保管理和智能化升级贡献力量。此次改造的成功实践,为同类设备的自动化改造提供了宝贵经验与参考。

参考文献

- [1]王子寒.基于PLC的火电厂除尘控制系统设计[J].电力系统及自动化,2020,(04):42-43.
- [2]能昌润,张立辉.基于PLC的火电厂除尘监控系统设计[J].电脑与电信,2023,(06):58-59.
- [3]高文俭,陈羽.基于PLC的火电厂除尘控制系统设计[J].自动化应用,2020,(10):103-104.
- [4]张建平,谢剑英,莫晓刚.配套新型布袋除尘控制系统软件设计[J].自动化仪表,2021,(07):75-76.