

# Design of Monitoring Data Acquisition Devices for Dust-Explosive Enterprises

Yongliang Zhao

Anhui Xiangyuan Technology Co., Ltd., Bengbu, Anhui, 233000

## Abstract

In response to the problems such as incomplete data collection, insecure transmission, poor adaptability, and weak environmental adaptability in the safety monitoring of dust explosion-related enterprises' dust removal systems, combined with technologies like automatic control, Internet of Things communication, data encryption, etc., a data collection device for safety monitoring and early warning of production safety in dust explosion-related enterprises was designed and developed. This device has functions such as multi-channel data collection, convenient integration of various types of sensors, secure encrypted transmission, local data storage, on-site visualization, and PLC data interaction. It can automatically collect, store, and upload key operating parameters of the dust removal system, providing reliable data support for the safety monitoring and early warning of dust explosion-related enterprises. This paper elaborates on the overall design scheme, hardware selection and circuit design, software system development of the device, and verifies its performance through actual tests. The test results show that the device has high collection accuracy, stable transmission, strong environmental adaptability, and can meet the actual needs of safety monitoring and early warning of dust explosion-related enterprises, with high engineering application value and promotion prospects.

## Keywords

Automatic control; Dust explosion-related enterprises; Data collection; Safety monitoring; MQTT protocol; National encryption SM4 encryption

## 粉尘涉爆企业监测数据采集装置设计

赵永亮

安徽祥源科技股份有限公司, 中国·安徽 蚌埠 233000

## 摘 要

针对粉尘涉爆企业除尘系统安全监测中数据采集不全面、传输不安全、适配性差、环境适应性弱等问题, 结合自动化控制、物联网通信、数据加密等技术, 设计并研发了一款粉尘涉爆企业安全生产监测预警数据采集装置。该装置具备多通道数据采集、多类型传感器便捷接入、安全加密传输、本地数据存储、现场可视化及PLC数据交互等功能, 可实现除尘系统关键运行参数的自动采集、存储与上传, 为粉尘涉爆企业安全生产监测预警提供可靠的数据支撑。本文详细阐述了装置的总体设计方案、硬件选型与电路设计、软件系统开发, 并通过实际测试验证了装置的性能。测试结果表明, 该装置采集精度高、传输稳定、环境适应性强, 能够满足粉尘涉爆企业安全生产监测的实际需求, 具有较高的工程应用价值和推广前景。

## 关键词

自动化控制; 粉尘涉爆; 数据采集; 安全监测; MQTT协议; 国密SM4加密

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

工业生产中, 煤炭加工、金属冶炼等行业产生的可燃性粉尘, 在特定条件下易引发燃爆事故, 严重威胁人员生命与财产安全。除尘系统作为粉尘涉爆企业防范燃爆风险的核心设备, 其运行参数的实时监测是风险预警的关键。当前, 粉尘涉爆企业除尘系统数据采集多依赖人工巡检或单一参数采集装置, 存在采集效率低、参数覆盖不全面、传输不安

全、环境适应性弱等弊端, 难以满足企业安全生产的实时监测需求。

基于自动化、物联网及数据加密技术的快速发展, 本文研发一款高性能、高安全性的数据采集装置, 实现除尘系统关键参数的自动、全面、实时采集与安全上传, 推动企业安全管理从被动应对向主动预防转变, 对提升粉尘涉爆企业安全生产水平、防范燃爆事故具有重要的理论意义和工程价值。

### 1.2 国内外研究现状

国外在粉尘涉爆监测领域起步较早, 形成了较为成熟的监测体系, 但其设备价格昂贵、协议适配性差, 且采用国外加密算法, 不符合我国工业数据安全要求。国内近年来逐

【作者简介】赵永亮(1978—), 男, 中国安徽濉溪人, 本科, 高级工程师, 从事自动化研究。

步重视粉尘涉爆监测工作，推动构建智能监测监管模式，但现有采集装置多存在功能单一、适配性不足、传输安全性低、环境适应性弱等问题，难以满足企业多样化监测需求，在传感器便捷接入、PLC数据交互等方面仍有提升空间。

### 1.3 研究内容与技术路线

本文核心研究内容为粉尘涉爆监测数据采集装置的设计与实现，具体包括：确定装置功能需求与技术指标，设计硬件与软件总体架构；完成各硬件模块的选型与电路设计；开发各功能软件程序；通过测试验证装置性能。技术路线为：调研需求→确定设计指标→总体方案设计→硬件与软件开发→性能测试→优化完善。

## 2 相关技术基础

### 2.1 自动化数据采集技术

自动化数据采集技术是工业自动化的核心，通过采集设备将现场物理量、化学量转换为可处理电信号，为监测控制提供支撑。其关键指标包括采集精度、通道数量及抗干扰能力，隔离功能可有效避免现场电磁干扰，保障采集稳定性。本文设计8路及以上数字量采集通道，集成隔离电路，采用高精度采集芯片，确保采集准确性。

### 2.2 无线通信技术与通信协议

无线通信技术具有部署灵活、适应复杂环境等优势，本文装置内置无线通信模块，支持4G/5G/Wi-Fi通信。通信协议方面，支持MQTT、MQTTs、HTTP、HTTPS等，其中MQTT协议轻量高效，适合工业物联网数据传输，MQTTs、HTTPS协议增强传输安全性，可灵活对接不同监测平台。

### 2.3 数据加密技术

工业数据安全至关重要，国密SM4算法作为我国自主研发的分组密码算法，加密效率高、安全性强，符合我国工业数据安全法规。本文装置采用SM4算法对采集数据进行加密后上传，实现“采集即加密、传输必安全”，避免数据窃取与篡改风险。

### 2.4 PLC数据交互技术

PLC是工业自动化核心控制设备，RS485接口传输距离远、抗干扰强，是PLC与采集装置交互的常用方式。本文装置设计2路及以上RS485接口，通过Modbus-RTU协议读取PLC数据，实现除尘系统数据全面采集。

## 3 装置总体设计

### 3.1 设计需求分析

结合工业现场需求，装置需满足以下功能与技术指标：8路及以上数字量采集（带隔离）；支持多种传感器便捷接入；内置无线通信与SM4加密，支持多协议上传；内置存储可存1个月以上历史数据；7寸及以上液晶屏，工作温度 $-20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ；2路及以上485接口，可读取PLC数据。采集精度 $\leq \pm 0.5\%\text{FS}$ ，通信成功率 $\geq 99.9\%$ ，存储容量

$\geq 8\text{GB}$ 。

### 3.2 总体架构设计

装置采用“硬件+软件”模块化架构。硬件系统包括核心控制、数字量采集、传感器接入、无线通信、数据存储、显示、PLC交互及电源模块，核心控制模块协调各模块工作；软件系统包括数据采集、传感器适配、协议解析、数据加密、本地存储、显示控制及PLC交互模块，实现数据全流程处理。

## 4 硬件系统设计与实现

### 4.1 核心控制模块设计

选用STM32F407VET6单片机作为核心控制芯片，ARM Cortex-M4内核，主频168MHz，外设丰富、运算快、抗干扰强，满足多通道采集与多协议通信需求。设计单片机最小系统、复位电路、时钟电路及接口电路，确保稳定启动与信号交互。

### 4.2 数字量采集模块设计

采用光电隔离芯片TLP521-4，实现采集信号与控制信号电气隔离（隔离电压2500V），避免电磁干扰。设计8路并行采集通道，输入开关量信号经隔离后转换为TTL信号，输入单片机GPIO口，增设TVS管抑制浪涌电压，提升稳定性。

### 4.3 传感器接入模块设计

支持模拟量（4-20mA、0-10V）与数字量传感器接入，选用ADS1256高精度ADC芯片（24位分辨率、30kSPS采样率）采集模拟量信号，数字量传感器直接对接GPIO口。设计通用接口与传感器供电接口，实现多种传感器便捷接入。

### 4.4 无线通信模块设计

选用EC200S 4G模块，支持4G全网通与Wi-Fi扩展，通过UART接口与核心模块连接。内置SM4加密芯片，实现数据实时加密，通过多协议上传至监测平台，选用高增益天线提升通信稳定性。

### 4.5 数据存储与显示模块设计

选用16GB工业级SD卡作为存储介质，通过SPI接口与核心模块连接，按时间戳存储数据，支持循环覆盖与掉电保数据。选用7寸TFT液晶屏（800×480分辨率），通过SPI接口连接，实时显示数据与设备状态，支持触摸操作。

### 4.6 PLC交互与电源模块设计

采用MAX485芯片设计2路RS485接口，支持Modbus-RTU协议，实现与PLC数据交互，增设接口保护电路。电源模块采用宽电压输入（9-36V DC），通过LM2596芯片转换为5V、3.3V供电，设计滤波、稳压与保护电路，确保供电稳定。

### 4.7 硬件集成与调试

绘制工业级双层PCB板，焊接元器件后进行模块单独调试与整体调试，排查采集精度、通信稳定性等问题，优化

电路设计,确保装置满足设计要求。

## 5 软件系统开发与实现

### 5.1 软件总体设计

基于 Keil MDK 环境,采用 C 语言编程,模块化开发软件,流程为:上电初始化→数据采集(数字量、传感器、PLC)→数据适配与加密→数据上传与本地存储→现场显示→循环执行,确保功能完整、运行稳定。

### 5.2 核心软件模块开发

系统初始化模块完成硬件与软件参数初始化;数据采集模块采用中断驱动,按预设频率采集各类数据;传感器适配模块通过配置文件实现多类型传感器适配;协议解析模块实现多协议的解析与封装;数据加密模块采用 SM4 算法加密数据;本地存储模块按时间戳管理 SD 卡存储;显示控制模块实现多界面可视化与操作;PLC 交互模块通过 Modbus-RTU 协议读取 PLC 数据。

### 5.3 软件调试与优化

通过模块调试与整体调试,排查数据采集错误、通信不稳定等问题,优化程序算法,进行兼容性测试,确保软件适配不同传感器与 PLC,稳定运行。

## 6 性能测试与结果分析

搭建测试平台,模拟工业现场环境,对装置各项性能进行测试。测试结果表明:数字量采集误差  $\leq \pm 0.3\%FS$ ;可顺利适配各类传感器;无线通信成功率 99.95%,传输延迟平均 300ms,数据加密安全;SD 卡可存储 45 天历史数据,掉电不丢失;  $-20^{\circ}C \sim 70^{\circ}C$  范围内稳定运行;可准确读取 PLC 数据,各项指标均满足设计要求。

## 7 结论与展望

### 7.1 研究结论

本文研发的粉尘涉爆监测数据采集装置,通过模块化硬件设计与软件开发,实现了多通道采集、多传感器适配、安全传输、本地存储、现场可视化及 PLC 交互等功能。测试验证表明,装置性能优良,可有效解决传统采集装置的不足,为粉尘涉爆企业安全监测提供可靠支撑,具有较高工程应用价值。

### 7.2 不足与展望

装置存在传感器接入智能化不足、数据处理能力有限、通信方式单一等问题。未来将引入传感器自动识别技术,增加数据异常检测功能,丰富 LoRa 等通信方式,提升装置智能化水平,扩大应用范围,助力工业自动化与安全生产深度融合。

### 参考文献

- [1] 中国网. 重庆:智能监测粉尘涉爆 预警降86.6%除隐患[EB/OL]. 2025-08-06. [https://yingji.china.com.cn/2025-08/06/content\\_43195098.shtml](https://yingji.china.com.cn/2025-08/06/content_43195098.shtml).
- [2] 期刊网. 粉尘防爆领域中新型监测预警技术的应用与效能评估[J]. 2025, (04): 1-10.
- [3] CSDN博客. MQTT 赋能工业 PLC 数据采集与应用[EB/OL]. 2025-11-27. [https://blog.csdn.net/weixin\\_41885542/article/details/125933660](https://blog.csdn.net/weixin_41885542/article/details/125933660).
- [4] 佰马科技. 基于佰马工业加密网关的数据级国密传输方案[EB/OL]. 2025-12-25. <https://www.baimatech.com/sbycjc-2025-12-25.html>.
- [5] 王坤. 工业自动化数据采集技术的应用与发展[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(05): 1-4.