

# 基于ESP32与GD32的矿场环境监测及预警系统

孙东硕, 刘智华, 黄昊文, 魏文华, 曾璐\*

江西理工大学电气工程与自动化学院, 江西 赣州

收稿日期: 2026年4月25日; 录用日期: 2026年6月22日; 发布日期: 2026年6月30日

## 摘要

针对矿场环境危险、监测复杂且无法实时预警这一问题, 设计了基于ESP32的矿场环境监测与预警系统。本系统通过多种传感器采集各个参数数据, 再通过搭载了RT-Thread操作系统的GD32辅助处理器传送至ESP32主控制器, 并通过MQTT协议上传至OneNET云平台。系统实现了LED屏的现场显示、微信小程序远程监控、数据参数超过限定值后自动灯光报警及设备联动, 并且集成了豆包AI大模型可以进行语音交互与智能问答。实验结果表明, LED屏连续72小时运行稳定; 语音指令识别准确率超过88%, 响应时间低于2.5秒; 远程设备控制成功率不低于90%, 响应延迟在1.5秒以内。本系统采用了国产芯片并搭配了国产操作系统的策略方案, 为推进矿山数字化建设提供了一套自主可控的国产化解决方案。

## 关键词

环境监测, ESP32, 微信小程序, AI大模型, 国产化

# An ESP32 and GD32-Based Environment Monitoring and Early Warning System for Mining Areas

Dongshuo Sun, Zhihua Liu, Haowen Huang, Wenhua Wei, Lu Zeng\*

School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi

Received: April 25, 2026; accepted: June 22, 2026; published: June 30, 2026

## Abstract

To address the challenges of hazardous working conditions, complex monitoring requirements, and the lack of real-time early warning in mining environments, this study designs an ESP32-based mine environmental monitoring and early warning system. The system first collects multi-parameter data

\*通讯作者。

文章引用: 孙东硕, 刘智华, 黄昊文, 魏文华, 曾璐. 基于 ESP32 与 GD32 的矿场环境监测及预警系统[J]. 软件工程与应用, 2026, 15(3): 467-478. DOI: 10.12677/sea.2026.153044

via a suite of sensors. These data are then transmitted to the ESP32 main controller through a GD32 auxiliary processor running the RT-Thread operating system, before being uploaded to the OneNET cloud platform using the MQTT protocol. Key functionalities of the system include on-site data visualization via LED displays, remote monitoring through a WeChat mini-program, automatic light-based alarms and equipment linkage triggered by parameter deviations beyond threshold values, and integration with the DouBao AI large language model to enable voice interaction and intelligent Q & A. Experimental results demonstrate that the LED display maintains stable operation for 72 consecutive hours; the voice command recognition accuracy exceeds 88% with a response time of less than 2.5 seconds; the success rate of remote device control is no less than 90% with a response delay within 1.5 seconds. By employing domestic chips and a domestic operating system, this system provides a self-controllable localized solution to advance the digital transformation of mining operations.

## Keywords

Environment Monitoring, ESP32, WeChat Mini-Program, AI Large Model, Localization

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 由于我国对矿产资源开发规模的不断扩大, 在矿场中建造一个安全的作业环境就显得尤为重要。传统的矿场安全监测系统部署起来不仅繁琐, 而且无法实时获取环境参数数据并进行及时预警, 这对工作人员的安全造成了严重的威胁。随着国家对矿山安全生产及智能化的管控提出了更高要求, 一批智能化监测系统正逐步应用于生产实践, 用来提升矿场安全作业环境水平[1]。除此之外, 由于在当前国际形势下, 我国在核心芯片与操作系统等领域面临严峻的技术封锁与科技打压, 严重影响了矿山安全监测系统的自主性发展[2]。环境监测作为矿山安全运行的重要组成部分, 是实现矿山数字化与智能化转型的关键环节, 因此构建一套基于国产操作系统与芯片、具备自主知识产权的实时、可靠、智能的环境监测与预警系统, 已经成为实现我国突破技术封锁与科技自主性的重要研究方向。

在矿场环境监测领域, 已有学者开展了一系列的相关研究[3]-[9]。庞杭州等[3]设计了一种基于矿用多参数传感器与工业以太网的采空区环境监测系统, 实现了对 CH<sub>4</sub>、CO 等多组分气体的实时采集, 并且进行了大数据分析, 但在智能预警与设备的实时联动方面仍有进一步提升空间。杜祎康等[4]基于 STM32 与 LoRa 无线通信技术设计了一套煤矿瓦斯预警平台, 实现了对瓦斯浓度的实时采集、显示与阈值预警功能, 并且具有通信距离优势, 但数据的处理分析能力欠缺, 并且所用的核心处理器依赖国外芯片, 存在技术受限的风险。朱新强等[5]基于 STM32 单片机设计了一套煤矿环境监测及预警系统, 实现了瓦斯、温湿度等参数的采集与无线传输, 并且具备了声光报警功能, 但整体的系统功能主要以数据采集与简单的报警为主, 缺乏系统设备的联动。为进一步分析现有系统在性能、功耗、通信方式及国产化程度等方面的特点, 对相关研究进行了对比, 如表 1 所示。

Table 1. Comparison of system performance

表 1. 相关系统性能对比

系统	主控方案	通信方式	性能特点	功耗	成本	国产化率
文献[3]	STM32	工业以太网	多参数高精度监测	高	高	较低

续表

文献[4]	STM32	LoRa + GPRS	LoRa 远距离预警	低	中	较低
文献[5]	STM32	Wi-Fi	多传感器环境监测	低	低	一般
本系统	ESP32 + GD32	MQTT + Wi-Fi	AI 语音交互与设备联动	中	中	高

针对以上几个问题, 本文设计了一套基于 ESP32 与国产 GD32 的矿场环境监测与预警系统。本系统采用了国产 RT-Thread 操作系统, 并融合了物联网通信、AI 大模型与智能语音交互等多项国产化技术, 构建了一套具备环境参数的实时采集、多端协同控制、智能阈值预警与设备及时响应联动功能的完整体系方案。本系统的主要创新点体现在以下的三个方面:

1) 提出以国产 GD32 与 ESP32 为核心的双核协同架构, 结合自主开发的微信小程序, 实现了从传感器数据采集、边缘侧计算、云平台传输到语音交互的全链路国产化方案, 有效提升了系统自主可控水平与集成度。

2) 调用了部署在云端具有推理能力的 AI 大模型, 并配合多模态人机交互界面, 实现了通过语音对设备进行控制和智能语音问答功能, 这不仅提升了系统的智能化程度, 还可以让现场工作人员更加自然地同设备进行交互。

3) 系统具备参数超限自动报警与设备智能联动能力, 支持通过微信小程序实现远程监控与设备调控, 在保障矿场安全生产的同时, 为实现矿山数字化转型提供了可扩展的国产化解决方案。

## 2. 系统设计

### 2.1. 系统总体设计

本系统的总体架构主要由四部分组成, 分别是感知层、控制层、传输层和云应用层。感知层由多类传感器组成, 负责实时采集矿场内的温度、湿度、烟雾浓度等环境参数, 为系统提供了数据基础。控制层则采用以 ESP32 为主控制器、GD32 为从控制器的双核协同架构。传输层利用串口通信、Wi-Fi 及 MQTT 等多种协议, 实现控制层内部与云平台间稳定、高效的数据传输。云应用层是基于 OneNET 云平台构建的, 能够对数据进行存储并可视化, 并开发了微信小程序, 使得管理人员能够随时随地远程监测矿场内的环境变化、接收预警信息并对设备进行调控, 最终形成了一个从现场感知到云端管理的完整闭环监测系统。

#### 双核协同架构设计

理论上, 采用单一的 ESP32 控制器作为主控同样可以完成环境数据采集、网络通信以及设备控制等基础功能。但由于本系统同时集成了环境参数实时采集、MQTT 网络通信、LED 动态显示、AI 语音交互以及设备联动控制等多项任务, 单核架构在多任务同时运行时容易出现资源竞争、响应延迟增加等问题。因此本文采用 GD32 与 ESP32 协同工作的双核架构, 其中 GD32 主要运行周期性的实时任务, 包括传感器数据采集、阈值判断及继电器控制等; ESP32 则主要负责 Wi-Fi 通信、微信小程序数据交互以及语音识别等非实时任务。通过双核协同设计, 实现了系统任务解耦与负载分配, 从而提高了系统运行的实时性、稳定性以及后期功能扩展能力。

### 2.2. 系统硬件组成

系统结构框图如图 1 所示。系统的核心控制部分是采用了 ESP32-S3 主控制器与 GD32F470VET6 从控制器的双核协同架构, 其中 GD32 还搭载了 RT-Thread 实时操作系统。感知层包含 DHT11 温湿度传感

器、MQ-2 烟雾传感器和 MQ-4 甲烷传感器。人机交互部分是由 3 行 6 字的 LED 点阵显示屏和基于 ESP32-S3-WROOM-1 的语音交互模块构成。执行机构包含了风扇、喷雾装置和声光报警器等设备。通信方面则是通过 Wi-Fi 模块进行数据传输，并且所有的硬件均通过自主设计的 PCB 电路板完成系统的集成。

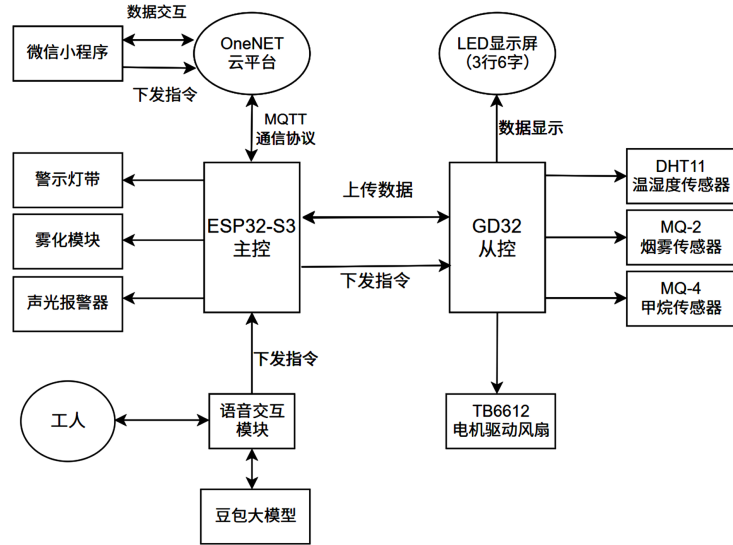


Figure 1. Overall system structure block diagram  
图 1. 系统总体结构框图

### 2.3. 控制器单元模块设计

#### 2.3.1. ESP32 主控制器软件设计

本系统中控制端选用 ESP32S3DevKitC1 开发板作为主控制器，具有发送采集指令、收集采集数据、处理采集数据、发送已处理数据的功能。其采用串口通信协议与从控制器 GD32 进行数据传输来获取相关数据和实现控制命令的下达。利用 WiFi 模块通过 MQTT 协议与 OneNET 云平台进行通信，实现数据上传、指令接收与响应等功能[10]，并通过 OneNET 云平台采集到的数据与设定阈值比较，下发控制命令到灯源等执行器。其中 MQTT 协议主要流程图如图 2 所示。

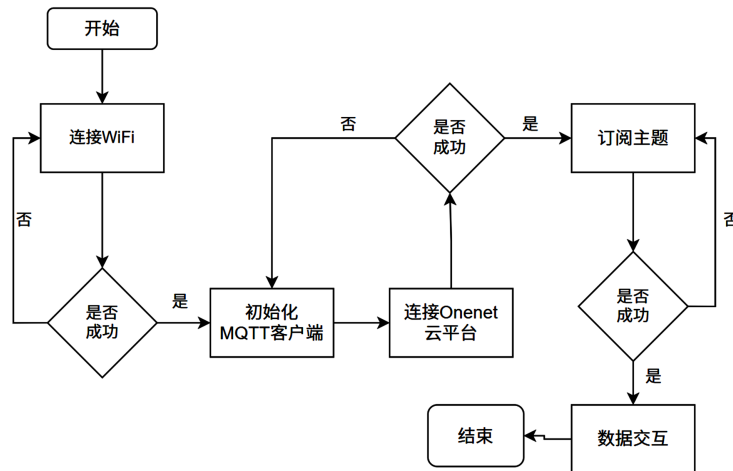


Figure 2. Flowchart of the MQTT protocol  
图 2. MQTT 协议流程图

### 2.3.2. GD32 从控制器软件设计

从控制系统以国产 GD32F470VET6 微控制器为核心，成功移植了国产 RT-Thread 实时操作系统[11][12]，通过模拟单总线协议和 ADC 采集来获取各个传感器的数据，并通过串口通信协议与主控制系统进行数据交互，同时接收指令的下发来控制风扇等执行器的运行状态；系统通过 SPI 协议与 LED 显示屏连接，实时显示采集的数据。

### 2.3.3. 主从控制器连接

对于主从控制系统的控制器及其设备的设计采用 PCB 设计，该设计是以电路原理图根据，实现总体系统设计所需要的功能，同时需要考虑外部连接的布局、内部电子元件的优化布局和金属连线和通孔的优化布局。因此为了更好地实现系统的相关功能以及硬件布局的美观，本系统使用嘉立创软件将上述的硬件电路进行 PCB 的设计，并优化了硬件电路的布局，减少了各个模块之间的连线，从而减少了人工接线所造成的差错。其主从控制器连接 PCB 板设计原理图如图 3 所示。

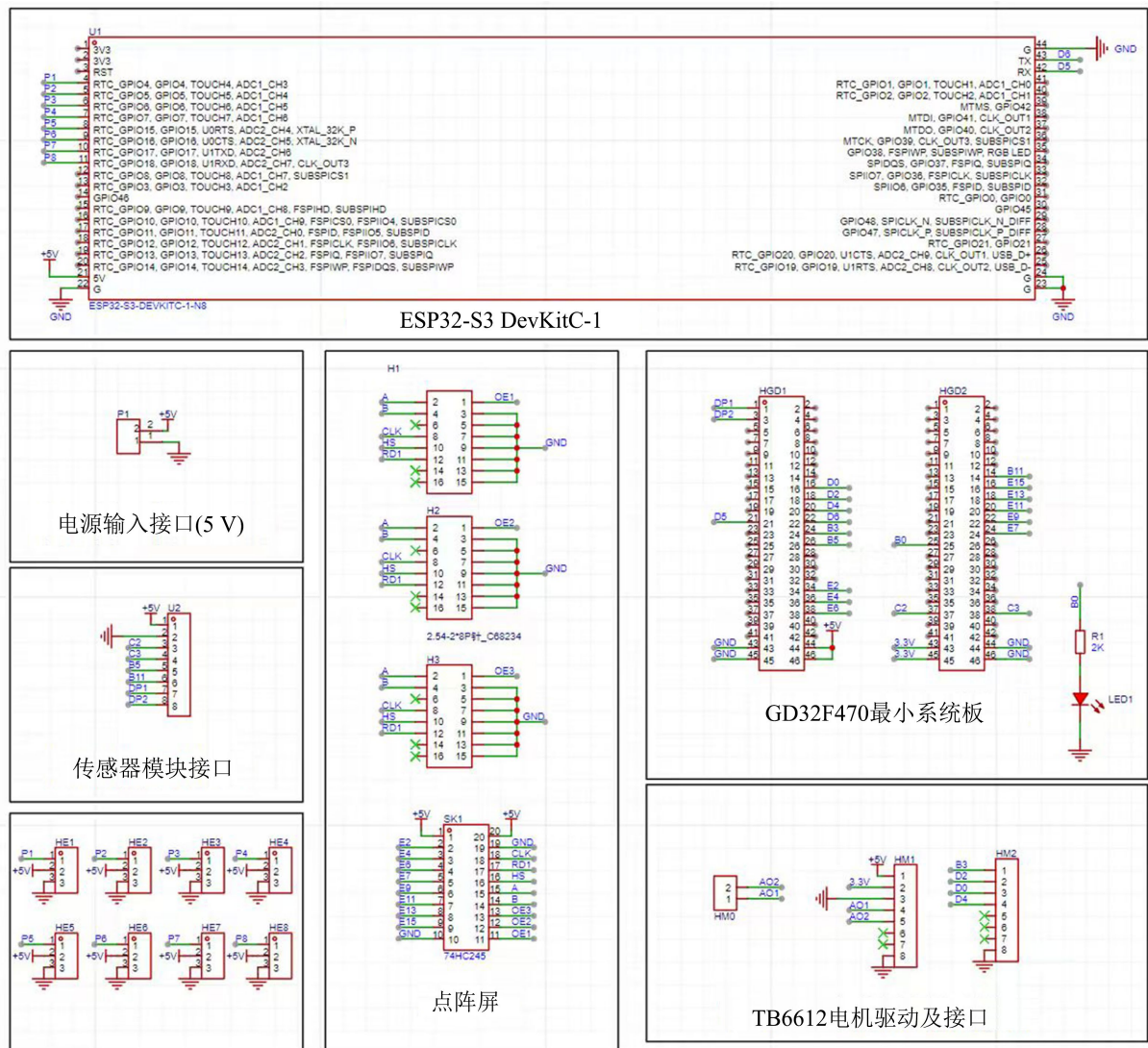


Figure 3. Schematic diagram of the master-slave controller connection PCB design

图 3. 主从控制器连接 PCB 板设计原理图

## 2.4. 系统语音模块设计

### 2.4.1. ESP32-S3-WROOM-1 模组

系统的语音交互模块采用 ESP32-S3-WROOM-1 模组作为核心处理单元，并融合了豆包 AI 大模型的语义理解与交互能力。ESP32-S3-WROOM-1 是乐鑫科技推出的一款面向 AIoT 应用的高性能无线通信模组，内部集成 ESP32-S3 芯片，具有较强的边缘计算与无线通信能力。其搭载的 Xtensa® 32 位 LX7 双核处理器，主频可以达到 240 MHz，并且支持单精度浮点运算单元和强大的神经网络加速指令[13]，强大的算力为语音控制和大模型的运行提供了有效保障。

此外，ESP32-S3-WROOM-1 还集成了丰富的外设接口，包括 I2S、I2C、SPI 以及 UART 等接口。其中 I2S 数字音频接口能够方便连接 ES8311 音频编解码器，实现音频数据的采集与播放；I2C 接口则用于完成对音频编解码器寄存器参数的配置与控制。系统通过 Wi-Fi 连接云端部署的豆包 AI 大模型，实现语义理解、语音问答以及设备控制等功能。通过将语音交互模块与 GD32 环境监测控制模块进行任务分离，可以有效降低系统多任务运行时的资源竞争，提高系统整体运行的实时性与稳定性。

### 2.4.2. ES8311 音频编解码器

ES8311 语音芯片是一款高性能、低功耗的音频数模混合集成电路芯片，具有 I2S 串行数据接口和 I2C 配置接口，能够实现差分模拟输入和输出。其内置的高信噪比(SNR)的 ADC 和 DAC，支持从 8 kHz 到 96 kHz 的多种采样频率，能够提供清晰的语音录制和高质量的音频回放效果[14]。

矿场作业环境的背景噪声通常是 60~80 dB。而 ES8311 具有 105 dB 的信噪比，这使得 ES8311 处理音频信息的能力远高于普通音频芯片。而且其内置的高性能 ADC 能够有效区分有效语音信号与环境噪声，能够确保在矿场这种高噪声的工作环境下仍然可以顺利采集到人员发出的语音信号，保障了语音模块的正常运行。其系统语音模块的整体系统处理架构如图 4 所示。

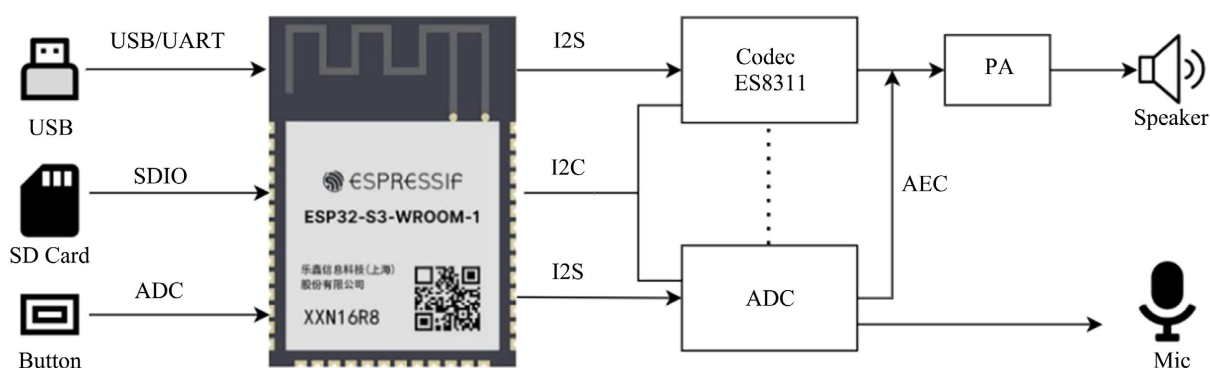


Figure 4. Framework of the audio processing system

图 4. 音频处理系统框架

### 2.4.3. 豆包 AI 大模型

基于火山引擎的豆包 AI 大模型拥有自然语言理解与语言交互能力。在本系统中，调用了云端部署的专门用于嵌入式与边缘计算的豆包·1.5·Lite·32k 版本，这一版本可以实现矿场环境监测场景下的智能语音交互、语音控制与知识问答功能。

豆包·1.5·Lite·32k 模型具有参数规模较小、推理资源需求较低等特点，适合与 ESP32-S3 等边缘侧设备结合，通过云端部署方式实现智能语音交互功能，同时又拥有高精度的识别与理解能力。32k 的上下文长度正好符合矿场中人机交互的场景，既能理解较长的用户指令，又避免了由于过长的上下文内容带来

的多余计算和系统延迟，确保了交互的实时响应。

通过将豆包 1.5 Lite 这一国产 AI 模型，与 ESP32、GD32、RT-Thread 等国产软硬件的深度融合，使得系统成功地构建了一条自主可控的智能环境监测闭环链路。

#### 2.4.4. 系统语音识别流程

语音识别系统工作流程如图 5 所示。语音系统启动后，麦克风开始采集工人发出的语音信号，并将采集到的信号转化为模拟信号传输至 ES8311 音频编解码器。ES8311 芯片在编解码器内部对模拟信号进行模数转换和预处理操作。然后，通过 I2S 接口将数字音频信号传输至 ESP32-S3-WROOM-1 主控单元。ESP32-S3 芯片先对音频信号进行特征提取，然后调用云端部署的豆包 AI 大模型进行语音识别与语义理解。一旦识别出语音指令，ESP32-S3 主控芯片便会根据识别结果通过相应的接口控制外设来执行相应的动作。

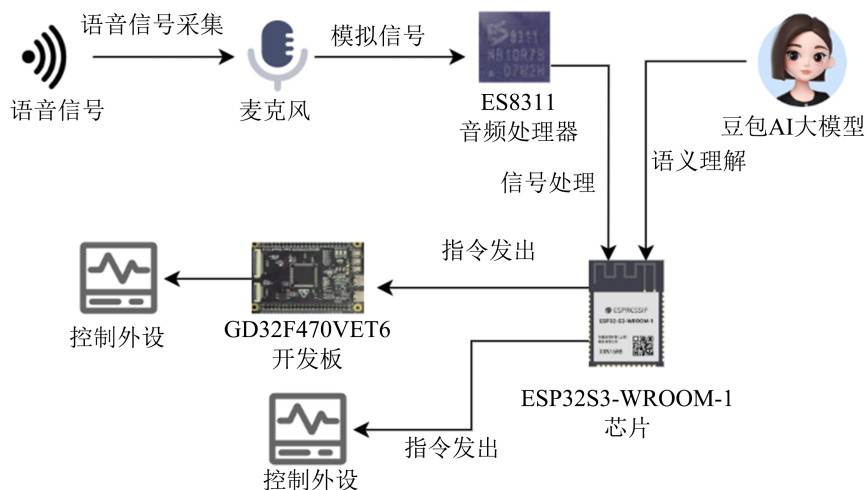


Figure 5. Flowchart of the speech recognition system  
图 5. 语音识别系统工作流程图

### 3. 系统架构分析

本系统的整体架构可划分为下位端与上位端两大部分。

#### 3.1. 下位端架构分析

下位端部署于矿场现场，是系统的感知与控制执行的核心部分，主要由感知层、控制层及本地人机交互层构成。

感知层由多种传感器组成，包括 DHT11 温湿度传感器、MQ-2 烟雾传感器与 MQ-4 甲烷传感器等。这些传感器实时采集矿场环境中的原始物理量，并将采集到的物理量转化为电信号。GD32 从控制器利用模拟单总线协议来读取采集到的温湿度等数据，并通过数模转换技术来采集模拟信号，进而实现了对来自传感器数据的整合。

控制层采用基于 ESP32 与 GD32 的双核协同架构。运行着国产操作系统 RT-Thread 的 GD32 辅助控制器，主要负责传感器数据的采集与传输。ESP32-S3 作为主控制器，负责实时监测来自 GD32 的数据流，并与 OneNET 云平台设定的阈值进行比较。一旦检测到环境参数异常，ESP32 将立即打开风扇通风、喷雾降低粉尘浓度、声光报警器等设备进行预警处理，实现了自动化的应急响应。

本地人机交互层包括 LED 点阵显示屏与智能语音交互模块。高亮度的 LED 屏在现场轮播显示各种环境参数的实时数据, 确保在复杂的光照条件下工人仍然可以实时了解当前环境状态。语音交互模块则是以 ESP32-S3-WROOM-1 模组为核心, 连接 ES8311 音频编码器, 并通过 Wi-Fi 连接云端部署的豆包 AI 大模型, 实现了工作人员与系统的自然语言交互。工作人员可以直接通过语音来询问信息或下达设备的控制指令, AI 大模型对传入的语音信号处理之后便会迅速作出响应, 极大地提升了系统交互能力的智能化水平。

除此之外, 为了响应国家的节能减排政策, 人机交互层将语音控制与 LED 显示屏相结合, 可通过语音来控制屏幕的亮灭, 当语音接收到“矿场中无人”等类似信息时, 大模型分析之后会发出节能模式指令, 使 LED 屏幕进入待机模式, 当退出待机模式时, LED 屏幕又可正常轮播数据。

### 3.2. 上位端架构分析

上位端架构主要分为云平台层与应用软件层, 通过传输层与下位端紧密连接。

传输层负责连接上位端与下位端。在设备内部, GD32 与 ESP32 之间通过串口通信协议进行稳定的数据传输。ESP32 则利用 Wi-Fi 模块, 通过 MQTT 协议将处理后的环境数据、设备状态及预警信息上传至 OneNET 物联网云平台, 同时接收来自云平台的控制指令[15]。微信小程序与云平台之间通过 HTTP/HTTPS 协议进行数据的查询与控制指令的下发, 确保了通信的安全性与通用性。

OneNET 平台负责接收并存储来自下位端的监测数据, 提供了强大的数据管理能力。管理人员可通过云平台来设计可视化界面, 远程全方位地监控矿区的环境信息, 分析参数变化趋势, 并为各种决策提供了大量的数据支撑。

应用软件层包括 Web 管理后台与移动端微信小程序。Web 后台页面具有历史数据的图表展示与设备管理功能, 适合在指挥中心进行大屏监控与分析。微信小程序是基于微信开发者工具软件来进行开发的, 微信小程序的开发极大地延伸了系统的移动性与便捷性, 授权用户可通过手机随时随地查看环境参数的实时数据、历史曲线(折线图)与直观仪表盘, 手动调节报警阈值, 远程控制现场设备(如开启风扇), 并与集成在云端的 AI 大模型进行对话, 获取处理建议[16]。这解决了传统后台管理系统不易携带的问题, 实现了全天候、移动化的矿山安全监管。

## 4. 系统功能调试

将系统各部分完成连接后, 系统开始上电启动。主控制器 ESP32 自动接入 Wi-Fi 网络。联网成功后, 彩色警示带会闪烁三次表明网络连接成功。之后, 便可开展对以下核心功能的调试: LED 点阵屏的实时数据轮播显示功能; 集成了豆包 AI 大模型的语音交互模块的实时性; 基于 OneNET 云平台的 Web 应用页面的可视化显示; 以及微信小程序在移动端的正常数据显示与指令控制。

### 4.1. LED 点阵屏数据显示调试

LED 点阵屏数据显示调试是为了验证其在实际矿场光照条件下的可视性、数据刷新实时性及控制器通信的稳定性。

系统上电初始化后, LED 点阵屏依次循环显示温度、湿度、烟雾浓度及甲烷浓度等环境参数。测试过程中, 分别在正常光照与强光照射环境下对屏幕显示效果进行观察, 并通过 GD32 控制器发送快速变化的数据流, 对屏幕数据刷新性能进行测试。

此外, 为模拟矿场复杂环境对系统稳定性的影响, 测试过程中通过人为改变环境温湿度及烟雾浓度, 对 LED 点阵屏在环境扰动条件下的数据刷新与显示稳定性进行了测试。同时, 对系统进行了连续 72 h 长时间运行测试, 测试结果如表 2 所示。

**Table 2.** LED dot matrix screen stability test results  
**表 2.** LED 点阵屏稳定性数据测试结果

测试项目	测试环境参数	测试条件	屏幕状态
光照环境测试	强光照度约 3000 lx	正常光照与强光照射环境	显示清晰, 无明显眩光
环境扰动测试	温度 16°C~28°C, 湿度 40%~85% RH	改变温湿度及烟雾浓度	数据刷新正常 无异常显示
长时间运行测试	连续运行 72 h	系统持续运行	显示稳定, 无闪烁及通信中断

由表 2 可知, 在不同测试条件下, LED 点阵屏均能够保持稳定显示。系统在强光环境下显示清晰, 无明显眩光; 在快速数据刷新与环境扰动条件下未出现卡顿、异常显示等现象; 连续运行 72 h 期间, 系统未出现闪烁、乱码及通信中断等问题, 表明 LED 点阵屏具有较好的显示稳定性与长期运行可靠性。如图 6 所示的是通过人为改变甲烷浓度之后的屏幕显示状态, 可见 LED 屏幕能够稳定循环显示“温度: 27°C, 湿度: 42% RH”、“烟雾: 2 ppm, 甲烷: 8%”, 与后台传输数据吻合。



**Figure 6.** LED dot matrix screen data display  
**图 6.** LED 点阵屏数据显示图

## 4.2. 豆包 AI 语音大模型交互调试

在调用了豆包 AI 大模型语音交互模块分别进行了智能对话功能测试和语音指令控制功能测试。

### 4.2.1. 智能对话功能测试

智能对话功能测试中主要是模拟在矿场环境中语音大模型的智能对话与对问题的分析能力。测试人员提出一系列有关矿场工作人员安全的专业性问题, 例如“当在矿场中遇到突发问题时, 我应该怎么办?”、“当前甲烷浓度偏高有哪些风险?”以及“如何正确佩戴自救器?”等问题。

系统通过豆包大模型理解问题语义, 并结合矿场安全知识库, 生成极具实用性的语音回复。以“当矿场中遇到突发问题时, 我应该怎么办?”为例, 系统将会回复: “请立即停止作业, 根据 LED 屏警示灯颜色确认危险类型(如红色为瓦斯超限), 启动应急预案(如开启通风设备), 沿避灾路线撤离, 通过小程序上报情况”。通过对 60 轮问答的测试, 系统回复内容的相关性、完整性与可操作性均符合矿场安全规范要求。测试统计, 对应急安全类问题的回复有效率达到了 95%; 对设备正确操作类的回复准确率达到了 92%。

### 4.2.2. 语音指令控制功能测试

语音指令控制的测试选取了矿场场景中常用的四种控制指令，包括对设备进行操作指令与环境查询指令，测试过程中，通过人员交谈声及扬声器播放设备运行噪声模拟矿场噪声环境，环境噪声声压级控制在 60~70 dB 之间。测试环境温度约为 24℃，网络信号延迟维持在 42 ms 左右。用户在距离语音模块约 1m 处发出控制指令，每类指令分别进行 50 次单独测试，并记录识别成功次数与系统响应时间。由于受到网络波动、环境噪声以及语音语速差异等因素影响，个别测试结果存在轻微偏差，但整体测试结果保持稳定。测试结果如表 3 所示。

**Table 3.** Test results of voice command recognition and control response  
**表 3.** 语音指令识别与控制响应测试结果

指令内容	词条长度	测试次数	识别成功次数	平均响应时间	识别正确率
打开通风设备	6 字符	50	47	1.6 s	0.94
当前温度多少	6 字符	50	46	1.8 s	0.92
关闭所有灯	5 字符	50	46	1.7 s	0.92
启动喷雾并打开风扇	9 字符	50	44	2.2 s	0.88

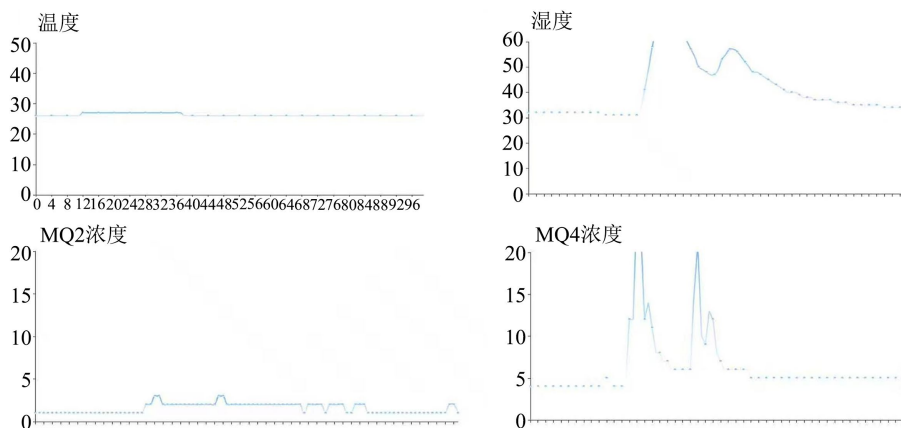
从表中结果可知，对于简单控制指令，系统平均响应时间在 1.7 秒左右，识别正确率可达 92%；对于包含复合操作的较长指令，平均响应时间约为 2.2 秒，正确率为 88%。所有测试指令的平均响应时间控制在 2.5 秒以内，识别正确率整体高于 88%，满足矿场环境下实时、可靠的语音控制需求。

### 4.3. 微信小程序调试

本次调试将围绕云端数据获取、手动阈值控制功能及远程设备控制响应三个方面展开。将系统硬件上电成功后接入 OneNET 云平台后，在移动设备上启动微信小程序。调试过程中，小程序作为订阅端，通过 HTTP/HTTPS 协议向 OneNET 平台请求数据并下发控制指令，通过观察数据和设备的执行来对小程序的功能进行全面的验证。

#### 4.3.1. 云端数据获取测试

数据获取是小程序实现远程监控的基础。为验证其显示数据的准确性，首先是人为改变周围环境的温度、湿度、烟雾以及甲烷浓度的参数，得到如图 7 所示曲线结果图，从图中可知，各环境参数均有较明显变化，可见系统能够实时获取周围环境数据变化。



**Figure 7.** Environmental parameter curve of WeChat mini program  
**图 7.** 微信小程序环境参数曲线图

然后再在系统连续稳定运行期间,选取一天中三个典型时段(5:00, 12:00, 20:00),同步记录现场传感器实测值和小程序显示值。测试参数包括温度、湿度及甲烷浓度,结果如表 4 所示。从表中可以看出,传感器实测的甲烷浓度数据值与微信小程序显示的数据值完全一致,表明数据传输稳定可靠。小程序显示值与传感器实测值之间的最大误差在 5%左右,在传感器自身精度允许范围内,数据获取功能符合设计要求。

**Table 4.** Test results of WeChat mini program environmental data acquisition

**表 4.** 微信小程序环境数据获取测试结果

时间	环境温度	显示温度	误差	环境湿度	显示湿度	绝对误差	甲烷浓度	显示甲烷	绝对误差
5:00	16℃	16℃	0%	86%	85%	1.2%	0.05%	0.05%	0
12:00	26℃	26℃	0%	73%	73%	0	0.08%	0.08%	0
20:00	19℃	20℃	5.3%	80%	80%	0	0.12%	0.12%	0

#### 4.3.2. 手动阈值控制功能调试

阈值动态设定测试是为了测试用户通过小程序远程修改系统预警阈值功能。在小程序“阈值设置”界面,将甲烷浓度报警阈值由默认的 0.2%先后修改为 0.15%和 0.25%,每次修改后,立即通过串口调试助手读取 ESP32 主控制器内存中的阈值,并观察系统报警响应。测试结果表明,小程序下发的阈值修改指令能被 ESP32 准确接收并立即更新。当现场甲烷浓度模拟值达到 0.15%时,系统成功触发声光报警(黄色警示灯闪烁),可见阈值控制指令功能可以稳定运行。

#### 4.3.3. 远程设备控制功能调试

远程控制功能测试在 4G 移动网络环境下进行。系统通过 MQTT 协议与 OneNET 云平台进行数据通信,并利用微信小程序向设备发送远程控制指令。测试过程中,采用 Ping 网络测试工具对网络状态进行测量,结果显示网络平均延迟约为 42 ms,最短延迟为 28 ms,最长延迟为 65 ms,测试期间未出现数据包丢失现象。

远程设备控制在微信小程序“设备控制”界面,分别对风扇、喷雾装置、声光报警器以及风扇档位切换等功能进行独立控制测试。每次操作后,通过现场观察,确认设备动作状态。每种设备进行 50 次“开启-关闭”循环测试,结果如表 5 所示。由表 5 可知,通过微信小程序远程控制设备的成功率高,平均响应延迟在 1.5 秒以内,控制成功率在 90%以上。

**Table 5.** Test results of WeChat mini program remote device control function

**表 5.** 微信小程序远程设备控制功能测试结果

受控设备	测试次数	成功响应次数	平均响应延迟	控制成功率
通风风扇	50	48	0.9 s	96%
喷雾装置	50	47	1.2 s	94%
声光报警器	50	47	1.6 s	94%
风扇 0、1、2 档	50	45	2.1 s	90%

在远程控制测试过程中,系统整体运行较为稳定,但少数情况下出现了设备响应延迟或控制失败现象。经分析,其主要原因包括移动网络波动和 MQTT 消息传输延迟等。此外,在风扇档位切换测试中,由于连续控制指令发送频率较高,部分指令存在执行延迟现象,因此风扇档位切换功能的控制成功率略

低于其他设备。整体而言, 远程控制功能稳定可靠, 能够满足矿场对设备进行快速远程干预的需求。

## 5. 总结与展望

本文设计的一套基于 ESP32 与 GD32 的矿场环境监测及预警系统, 运用了国产芯片、国产操作系统、物联网、AI 语音大模型交互与远程监测和控制等多项国内核心技术, 为矿山安全生产提供了一套自主可控的国产化解决方案, 可以在实际矿场环境中得到广泛应用。未来, 可进一步结合 5G 通信与边缘计算技术, 拓展系统在井下定位、人员安全监测等场景的应用, 并与智慧矿山管理平台相结合, 构建更全面、智能化的矿山安全防护系统。

## 基金项目

江西省大学生创新创业训练项目(S202510407047)。

## 参考文献

- [1] 国家矿山安全监察局印发《金属非金属矿山智能化建设指南》[J]. 黄金科学技术, 2025, 33(6): 1252.
- [2] 汪玉凯. 以关键核心技术突破推动实现高水平科技自立自强[J]. 国家治理, 2023(1): 58-63.
- [3] 庞杭州, 神东方, 张涛. 煤矿井下采空区多参数环境监测系统设计与研究[J]. 陕西煤炭, 2025, 44(10): 180-184.
- [4] 杜祎康, 何华刚, 梅甫定. 基于 STM32 与无线通信技术的煤矿瓦斯预警平台设计[J]. 煤炭技术, 2023, 42(10): 160-162.
- [5] 朱新强, 吴溢达, 韩颖晴, 等. 基于 STM32 单片机的煤矿环境监测及预警系统设计[J]. 科学技术创新, 2023(21): 84-87.
- [6] 蒋鹏. 基于 LoRa 无线通信的煤矿矿井环境智能监测系统设计与实现[J]. 煤炭技术, 2023, 42(7): 206-208.
- [7] 李征真, 张强, 李岳. 基于 STM32 的煤矿用粉尘浓度传感器设计[J]. 矿山机械, 2025, 53(5): 60-63.
- [8] 李晖, 向钠, 周唯. 矿用便携式环境监测系统设计[J]. 工业控制计算机, 2025, 38(1): 163-165.
- [9] 刘举庆, 李军, 王兴娟, 等. 矿山生态环境定量遥感监测与智能分析系统设计与实现[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(4): 346-358.
- [10] 张英辉, 冯凯, 高有军, 等. 基于探针的服务质量监控系统实现及应用[J]. 计算机应用与软件, 2024, 41(9): 23-28.
- [11] 崔建峰, 丁蔚松, 盛珂, 等. 国产化高精度炮口偏移量光电测试系统[J/OL]. 火炮发射与控制学报: 1-9. <https://link.cnki.net/doi/10.19323/j.issn.1673-6524.202507016>, 2026-06-17.
- [12] 张雪波. 基于 GD32 芯片的智能自动斟酒机系统设计[J]. 工业控制计算机, 2025, 38(7): 150-152.
- [13] 李澳, 李帅忠, 杨宏波, 等. 可部署在微控制器上的端到端心音分类算法[J]. 计算机工程与设计, 2025, 46(11): 3095-3102.
- [14] 张来洪, 易江文, 李勇, 等. 基于国产化 FMQL 和 ES8311 的电台语音功能实现[J]. 电声技术, 2023, 47(2): 51-57, 64.
- [15] 王彪, 杨子腾, 卞广雨, 等. 基于深度学习算法的原位激光 CO<sub>2</sub> 检测系统研制[J]. 激光杂志, 2023, 44(6): 48-52.
- [16] 张宛芸, 周诗瑶, 魏新宇, 等. 基于物联网的宿舍环境监测与综合管理系统研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2024, 47(5): 121-126.