

审定成绩：_____

重庆邮电大学
毕业设计（论文）

中文题目	基于单片机的多功能安全帽设计
英文题目	Design of Multifunctional Safety Helmet Based on Microcontroller
学院名称	自动化学院/工业互联网学院
学生姓名	曾宇鹏
专 业	物联网工程
班 级	08052104
学 号	2021213223
指导教师	孟振亚 讲师
答 辩 组 负 责 人	黄旭炜 副教授

2025 年 6 月
重庆邮电大学教务处制

自动化学院/工业互联网学院本科毕业设计(论文)

诚信承诺书

本人郑重承诺：

我向学院呈交的论文《基于单片机的多功能安全帽设计》，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明并致谢。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

年级 2021 级

专业 物联网工程

班级 08052104

承诺人签名 曾宇鹏

2025 年 6 月 3 日

学位论文版权使用授权书

本人完全了解重庆邮电大学有权保留、使用学位论文纸质版和电子版的规定，即学校有权向国家有关部门或机构送交论文，允许论文被查阅和借阅等。本人授权重庆邮电大学可以公布本学位论文的全部或部分内容，可编入有关数据库或信息系统进行检索、分析或评价，可以采用影印、缩印、扫描或拷贝等复制手段保存、汇编本学位论文。

（注：保密的学位论文在解密后适用本授权书。）

学生签名：曾宇鹏

指导老师签名：王振亚

日期：2025 年 6 月 3 日

日期：2025 年 6 月 3 日

摘要

在矿井作业时，存在着气体泄漏、温湿度异常、光照不足等隐患威胁着矿工的安全。为解决这些风险、提升矿井作业安全与管理效率，本文设计了一种利用 STM32 单片机实现的多功能安全帽系统。它具有环境监测、GPS 定位、照明管理、语音通信以及远程管理等功能。系统用 DHT11 温湿度传感器和 MQ-2 烟雾传感器来实时监测矿井中的温湿度和有害气体浓度，同时利用 GPS 模块获取矿工的实时地理位置信息，并在 OLED 屏幕进行展示，方便人员进行实时查看。一旦主控制器检测到环境参数异常，系统将会自动触发报警告知周围人员，并推送至远程管理平台。安全帽还带有高亮 LED 灯，支持手动和远程来控制照明，以保障矿工在光线不足环境下的照明。安全帽还集成有语音对讲模组，保证和管理人员的实时通话。系统利用 ESP8266 使用 MQTT 协议将数据上传到云服务器，再推送到远程管理平台。系统支持管理人员通过远程平台对设备进行控制和配置，实现了数据的实时监控与设备的远程控制。

研究实验结果表明，该多功能矿工安全帽可以准确地获取佩戴者周围的环境数据并上传远程管理平台，支持通过远程平台进行设备控制和配置参数。其实际运行中展现出很高的通信可靠性以及较低的功耗水平，能够满足矿井中安全作业和管理的需求。为矿井安全管理领域提供了一种功能全面、运行稳定、高效而且成本较低的方案，可以被广泛地应用到矿井的日常作业中去，以此来显著提升矿井作业过程中的安全以及整体的矿井工作效率。

关键词：STM32；矿工安全帽；环境监测；矿井安全；远程管理

Abstract

In the mine operating environment, there are often dangerous factors such as gas leaks, unpredictable air quality, or simply not having enough light to see properly. To tackle these head-on and also streamline how mines are managed, we've put together a smart miner's helmet built around an STM32 microcontroller. The system includes environmental monitoring, GPS positioning, lighting management, voice communication and remote management. It constantly keeps an eye on the surroundings using a DHT11 sensor for temperature and humidity, and an MQ-2 sensor to sniff out harmful gases, and at the same time uses the GPS module to obtain the real-time geographical location information of the miners, and then displays it with the help of OLED screen for the miners to view in real time. If the main controller detects abnormal environmental parameters, the system will automatically trigger an alarm to inform the miner and send a warning to the remote management platform. In addition, the helmet has bright LED lights. Miners can switch these on themselves, or they can be controlled from the management platform if needed. The helmet also integrates a voice intercom module to ensure real-time communication with management personnel. The system uploads data to the cloud server through the Wi-Fi module and MQTT protocol, and forwards it to the remote management platform, and supports the control and configuration of the device through the remote platform, realizing real-time monitoring of data and remote control of the device.

The experimental results show that the multi-functional miner helmet can accurately obtain the environmental data around the wearer and upload it to the remote management platform, which supports equipment control and configuration through the remote platform. In practice , it's shown it can maintain solid communication and doesn't guzzle battery power, which can meet the needs of safe operation and management in the mine. It provides a stable, efficient and low-cost solution for mine safety management, which can be widely used in the daily operation of the mine, and improve the safety and overall work efficiency in the process of mine operation.

Keywords:STM32; miner's helmet; environmental monitoring; mine safety;remote management

目录

第 1 章 引言	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.2.1 国外研究现状	1
1.2.2 国内研究现状	2
1.3 论文主要内容概述	3
第 2 章 系统需求分析与技术论证	4
2.1 系统需求分析	4
2.2 技术可行性评估	5
2.2.1 定位技术可行性	5
2.2.2 环境监测技术可行性	7
2.2.3 语音通信技术可行性	8
2.2.4 数据通信技术可行性	10
2.2.5 远程控制 APP 技术可行性	12
第 3 章 系统设计与实现	14
3.1 总体设计	14
3.1.1 设计目标	14
3.1.2 系统架构设计	14
3.2 硬件电路设计	15
3.2.1 单片机最小系统电路	15
3.2.2 电源电路	16
3.2.3 传感器电路	17
3.2.4 数据通信电路	19
3.2.5 语音对讲电路	19
3.3 单片机程序设计	20
3.3.1 设计概述	20

3.3.2 资源分配.....	21
3.3.3 功能实现.....	22
3.4 远程控制 APP 设计	24
3.4.1 设计概述.....	24
3.4.2 功能实现.....	24
3.4.3 打包与部署.....	29
第 4 章 系统测试与验证	31
4.1 系统实时定位测试.....	32
4.2 语音对讲测试.....	32
4.3 照明功能测试.....	33
4.4 环境监测及自动报警测试.....	34
4.5 远程控制 APP 测试	36
4.5.1 系统登陆界面.....	36
4.5.2 监控功能.....	37
4.5.3 控制功能.....	38
第 5 章 总结与展望	40
5.1 主要工作与创新点	40
5.2 后续研究工作展望	41
参考文献.....	42
致谢.....	44
附录 A 源代码	45
附录 B 原理图	49

第 1 章 引言

1.1 研究背景和意义

随着矿业的不断发展，矿井作业环境愈发复杂，矿井作业在安全方面存在的问题也逐渐地被凸显出来，矿工们在安全保障方面所面临的问题慢慢地成为了整个社会所以关注的焦点^[1]。煤矿井下的危险因素多种多样，这当中包括瓦斯爆炸、煤尘爆炸、坍塌等，这些因素直接威胁到矿工的生命安全。尽管传统的矿工安全帽具有保护矿工在危险工作环境下头部免受物理外力直接打击、以及在矿下照明的功能，但在实际运用当中，还存在一些问题，如功能比较单一、各种监控综合性不强、系统实施成本高、信息整合能力弱、井下人员与设备的跟踪定位能力差、煤矿生产各要素的统合性考虑不够^[2]。

因此，多功能矿工安全帽的设计成为提升矿井安全性方面的一个重要的研究方向。本研究的目的在于设计一种集成多种功能的智能矿工安全帽，如定位、语音通信、环境监测、自动报警，远程管理等技术，以此为基础来将矿井安全生产管理方面的水平加以提高起来，并确保最大程度保矿工的生命安全。该系统能够做到实时监控矿工的工作环境，同时还能在发生突发事件的时候马上进行报警，并且为矿井管理人员提供实际的后台管理手段，其期望达成的目标就是为了能够给矿工们的人身安全保障以及整个矿业后续的发展进程去提供到一份有效的助力支持。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

国外进行的研究工作，主要是聚焦于智能化技术和矿工安全帽进行深度整合的这个方面，他们在安全体系的建立，煤矿整体管理思路等方面有其独特的特点^[3]。例如加拿大NSS公司与Cambrian公司两者合作去开发出来的一款AR安全帽产品，它搭载了微软 HoloLens 2，能够去实时地显示出来钻孔定位方面的数据信息，从而能够将爆破作业中所产生的误差给减少大约 15%的幅度，并通过 AR 标注功能

实现地面专家进行特定的远程指导维修，作业效率提升将近 80%。国外在平台标准化有相当深入的研究，如霍尼韦尔智能安全帽联动无人机与救援机器人，塌方事故中自动发送生命体征与坐标数据，救援响应时间缩短了 30%。南非的 Expert Mining Solutions 公司和四所大学他们合作去研发出来的一套名为“Life”的穿戴式系统，通过借助脑电波传感器这类的设备，来对矿工的疲劳状态情况进行监测的动作，其监测的准确率方面的表现能够达到 95%的水平，与此同时，并且结合 IMU 传感器，来识别出一些具有高风险性的身体姿势，并推送一些用以矫正姿势的建议信息。在标准化这个方面的工作上，像是 EN397 以及 ANSI Z89.1 这些标准规范，就对智能安全帽产品所涉及到的通信协议以及数据加密标准这些内容去进行了明确的规定动作，从而能够去确保在跨国作业的矿山之间实现数据信息方面的互联互通。

1.2.2 国内研究现状

国内矿工安全帽的智能化研究以 5G 通信技术与多模态传感器融合为核心。它通过借助于集成像是北斗/GPS 这类能够达到厘米级别的定位模块，高精度的气体传感器，与此同时，还包括了生命体征监测方面的模块如心率、血氧监测，通过这些技术的智能系统可以实时监测矿工健康状况和矿井环境条件，并通过数据分析与自动报警，及时应对潜在风险^[4]。例如徐工集团开发的数字孪生系统可预判设备故障，通过分析安全帽采集的振动、温度等数据，优化维护周期，使采矿设备故障率降低 30%。此外，实际运用中安全帽的功能不止于防护，例如安徽庐江某铁矿通过可拆卸卡扣将传统安全帽升级为智能终端，支持远程操控无人铲运机，井下作业效率提升 50%并联动通风系统自动排险，事故响应时间缩短至 30 秒内。此外，国内不仅针对矿工安全帽进行研究，同时进行了对应的监测算法的研究，如吴冬梅等将 Faster RCNN 网络架构运用于工人安全帽佩戴检测中^[5]，这个方向的研究不仅使得安全帽本身的作用的得到发挥，也使得矿井后台管理更加的便捷和方便。

然而，当前的研究虽说在传感器处理、数据采集和各个模块的设计上已取得了较好的集成，但整体系统层面的综合设计方面仍会显现不足。尽管早就已经有研究去关注单一功能模块的优化工作或特定技术的应用层面，但在去实现不同功

能模块之间的高效融合与系统层面的协同工作的效果上，仍存在着很大的挑战。随着一些企业推出数字化安全监管平台，并借助于 APP 来进行远程监控与管理，智能安全帽的应用也逐步得以推广。然而，要如何在复杂矿井环境中去实现多个功能模块的高效且稳定的集成状态，依旧是国内研究中的一个关键难题方面。

1.3 论文主要内容概述

本论文共分为五章，具体安排如下：

第 1 章为引言。将阐述多功能安全帽的研究背景和意义及国内外的研究现状。

第 2 章为系统需求分析与技术论证。主要分析了多功能安全帽的需求和实现相应需求的技术可行性，为后续的实际设计提供理论和技术依据。

第 3 章为系统设计与实现。详细介绍多功能安全帽的总体架构、硬件电路设计、软件架构设计及远程管理平台的实现细节。

第 4 章为系统测试与验证。描述多功能安全帽系统测试过程，验证系统效果，以及给出验证结论。

第 5 章为总结与展望，总结了此次研究所作的工作，并对未来的研究方向进行相应展望。

第 2 章 系统需求分析与技术论证

2.1 系统需求分析

矿井中的作业环境十分的复杂而且危险，早年的矿工安全帽设备已经无法满足如今矿井对于安全管理的需求。因此，需要出现能够适应当下新矿井作业需求的多功能安全帽就显得无比重要。该系统通过集成多种技术，来提升矿工作业时的安全性和工作效率。

在矿井中实现精准定位的是设计当中的核心需求之一。矿工的实时位置必须可以准确显示出来，能够将地理位置信息实时展示到屏幕上，以及推送到远程管理平台，这样矿工的安全才能够得到保障。通过集成 u-blox 的 NEO-6M GPS，系统可以确保矿工的地理位置通过现场 OLED 显示屏和远程 APP 进行实时的精确查看和推送，管理人员随时掌握矿工的环境动态确保矿工的安全。

环境监测也是一个重要得需求，矿井内的温湿度和有害气体的变化，可能会带来安全隐患。为了及时发现危险并去采取应对措施，安全帽必须配备温度、湿度和烟雾传感器，可以实时监控矿井的环境状况。一旦环境参数超出了安全范围，系统就可以自动触发报警，蜂鸣器会报警响起，警告矿下作业人员及时撤离，同时 APP 会及时推送警报信息给矿井管理人员，确保后方应急力量可以快速响应。

语音通信系统是另一个重要的功能。矿井内噪音往往很大，并且信号一般也不好，普通的通信设备可能很难保障通话的清晰和稳定。因此，安全帽需要集成对讲模组，以此来确保矿工与指挥中心之间的语音通信质量，特别是在紧急情况之下，可以实现清晰、实时的交流，及时求助后台，保障自身的安全。

照明功能在矿井当中同样不可忽视。矿井的光照条件通常比较差，矿工在低光环境下需要额外的安全保障。安全帽需要集成高亮度 LED 灯，支持手动和 APP 远程控制的开关功能，保障矿工在任何情况下都能有足够的照明，在遇到危险时可以由远程的人员来开启以查看具体的矿下情况，做出分析，以此来确保其安全操作。

远程管理平台则用于矿井后台管理人员实时监控矿工的工作状态以及环境数据。该平台可以通过云服务器与安全帽进行数据交互，支持管理人员远程查看数

据，进行设备配置，及时调整设备参数或者去处理紧急情况。系统的可靠性以及通信稳定性也必须经过优化，确保在矿井恶劣环境当中长时间运行，系统总体需求分析见表 2.1。

表 2.1 系统需求分析

功能	需求描述
环境监测	使用 DHT11 温湿度传感器和 MQ-2 烟雾传感器，能够实时获取温度、湿度和烟雾值。
自动报警和预警功能	工作人员遇到紧急情况能够自动报警，管理员能通过 APP 远程推送预警告知。
安全照明功能	集成高亮度 LED 灯，支持手动和 APP 远程控制，保证矿工在低光环境下的安全。
语音通信功能	集成对讲模组，实现语音通信，保证紧急情况下能够联系到后台人员。
远程数据通信	设备端的环境监测数据可以上传至云平台。
后台管理平台	远程管理平台可以实时接收云端推送的报警，以及远程配置同步到云端和设备。

2.2 技术可行性评估

为了确保多功能智能安全帽系统能够满足矿井复杂环境下的安全作用与智能需求，接下来将定位技术、环境监测技术、语音通信技术和数据通信技术等多个方面来进行技术可行性评估。本次所要进行的可行性评估工作，是基于先前已完成的系统需求分析这个基础之上的，采用专业的架构和低成本、低功耗的方案，使得系统的专业性与可实现性这两方面得到保证。

2.2.1 定位技术可行性

定位系统在矿工安全帽当中承担着极其重要的角色，通过它可以确保在矿井环境中实时追踪并获取矿工的地理位置信息。井上设备常见的定位方式为全球导航卫星系统，井下设备的定位以无线定位技术为主，当前常采用的定位技术包括超带宽、射频识别、无线局域网等^[6]。对于矿井作业的这个特殊的场景，我们需要综合考虑不同的定位技术来确定安全帽的最终技术选择。

1) GNSS 技术

GNSS，也就是我们常说的全球导航卫星系统，它是一种基于卫星的导航技术，其原理涉及卫星的分布、信号传输、接收与计算以及多系统的融合。GNSS 系统由一组轨道卫星和地面控制站组成，卫星分布在地球轨道上，以确保全球覆盖，也就是说，它能够通过接收多颗卫星所发出来的信号，进而计算出接收器自身所在的一个精确位置^[7]。通常来说，GNSS 想要实现三维定位的话，往往是需要接收到来自至少四颗卫星的信号才可以。不过，它在定位的精度上经常会受到卫星信号的质量、大气环境的状况以及接收环境等很多因素的影响。

然而，要是把 GNSS 技术运用到矿井环境当中，那它就会面临一些非常显著的技术挑战了。由于卫星信号强度的限制，无法直接应用到井下。如此一来便使得 GNSS 在地下矿井里面基本上是一种失效的状态，仅仅只能在地面以及井口这些区域拿来提供一个相对来说比较可靠的定位服务^[8]。这种局限性就让 GNSS 没有办法完全满足矿井作业那种需要全覆盖的定位需求了。尽管 GNSS 在地下环境当中的应用效果是比较有限的，但它在矿井入口以及地面区域的定位需求当中，却具备了比较高的适用性，能够为矿井作业提供一个可靠的辅助定位支持。

目前来看，基于 STM32 微控制器所搭建出来的 GNSS 模块集成方案，在技术上是显得比较成熟的，并且在成本控制方面也显得比较合理，与此同时，它还能够充分地去利用多系统卫星信号，进而提升定位的稳定性。

2) 超带宽无线技术

UWB 技术运用极短脉冲信号来进行通信以及测距，通过测量信号的到达时间差或者到达时间来实现高精度定位。UWB 超带宽技术是人员定位系统中公认的精确度最高的无线定位技术，也是应用最广的无线定位技术，定位精度最高达 0.1 m，最低精度也不超过 0.3 m，同时还具备良好的穿透能力以及抗干扰性能^[9]。超宽带技术作为新兴的室内高精度定位解决方案，它具备纳秒级时间分辨能力和厘米级定位精度，非常适合在复杂环境当中进行精确的人员定位，可以满足工业应用的定位需求。UWB 技术的强抗多径干扰能力，让它在矿井这种多反射环境中表现优异，能够提供稳定且可靠的定位服务。然而，UWB 系统的部署需要在矿井内建设完整的基站网络，这当中会涉及大量的基础设施投入以及复杂的网络规划。要是考虑到矿井环境的特殊性以及安全要求，基站的安装、维护以及升级都面临着

较大的技术和成本挑战,这个在一定程度上就限制了 UWB 技术在大规模矿井应用当中的可行性。

3) RFID 技术

RFID 定位系统是一种利用射频技术进行物体定位和跟踪的非接触类系统,基本组件包括天线和标签。凭借标签体积小、成本低等优点,RFID 定位技术被广泛应用于室内环境^[10]。这个技术分为低频、高频以及超高频三种工作频段,不同的频段在传输距离以及穿透能力方面都有其各自的特性。RFID 系统主要依靠接收信号强度指示来估算距离,因此定位精度相对来说有限。RFID 技术在矿井环境中主要适宜于区域性的人员识别以及粗略定位,它的技术原理决定了定位精度会相对有限。虽然 RFID 系统的部署成本较低,技术也相对成熟,但是它的定位精度很难满足矿井安全对精确位置信息的严格要求。RFID 技术容易受到金属环境的信号屏蔽影响,在矿井这种金属设备密集的环境中,信号传输的稳定性存在不确定性。除此之外,RFID 的有效识别距离有限,需要密集地去布置读写器才能得以实现较好的覆盖效果,这同时也就增加了系统的复杂性以及维护成本。

综合分析各种定位技术的特点以及限制,选用 GPS 定位方案,在当前技术条件下以及需求上是拥有较高可行性的,既能够去控制系统成本,又能够在一定程度上满足矿井安全的基本定位需求。

2.2.2 环境监测技术可行性

矿井环境中,对于温湿度以及有害气体等多项监测需求,接下来我们逐一分析每种环境监测需要用到的技术以及可行性。

1) 温度和湿度监测

在矿井中,温湿度作为衡量矿井安全的重要指标,对工作人员的身心健康以及人身安全起着重要的影响。目前来看温湿度的监测主要使用的是固定设备,并不能随处设置进行全域监测,而矿工可能会出现偶现情况,所以可以将温湿度传感器集成到安全帽上,对温湿度传感器的选取中,考虑到传统的数据采集需要 A/D 转换电路,从而给电路设计带来很大麻烦^[11]。对此本文选择 DHT11 温湿度传感器因为它拥有低功耗特性,并且在测量精度方面非常准确,最重要的是对于本文所使用到的架构来看,使用 DHT11 只需要很少的外设资源。所以说,运用它来开展矿井温湿度的监测工作,是比较适宜的而且,其成本也比较低。因此,借助它低

成本以及高性价比的特性，DHT11 可以说非常适合矿井环境中那些常规的温湿度监测需求。

2) 有害气体监测

煤矿井下作业环境复杂，存在着 H_2S 、 CO 、 NO 、 Cl_2 等多种有害气体，这些有害气体一旦浓度超标，将严重威胁工人健康，并可能引发爆炸或窒息等重大安全事故^[12]。当前，煤矿井下有害气体监控主要有手持检测设备和有线监测系统，显然这两种方式都极为不便。因此将监测的设备集成到安全帽里是最便捷，最高效的方法。在煤矿井下有害气体监控系统中，传感器的选择至关重要，直接影响数据采集准确性和系统可靠性。本研究采用 MQ-2 气体传感器能够去检测像甲烷、一氧化碳等多种可燃气体，并且响应时间很快，因此适合矿井中有害气体的检测。借助 STM32 的 ADC 接口，我们可以读取其模拟信号，在经过标定之后，就可以将其转换为 PPM 值。该传感器性能稳定，并且被广泛地运用于工业气体监测的方面，所以非常适合矿井环境中的气体安全监测工作。

综合来看，运用 DHT11 与 MQ-2 传感器来进行组合，这个方案能够全面地监测矿井当中的温湿度以及有害气体。它拥有低功耗、调试简单，以及技术成熟等特性，所以说，这项环境监测技术的可行性是非常高的。

2.2.3 语音通信技术可行性

在矿井这种复杂的地下环境当中，要去选择一种合适的语音通信技术来加以应用，是非常重要且值得思考的，并且是需要去综合性地考虑到像是信号覆盖的情况、网络依赖的程度、安全合规方面的要求以及部署成本的高低等等这些方面的因素。下面将会针对三种主流的技术方案，来分别进行简要介绍以及可行性评估的动作。

1) 射频模拟对讲技术

射频模拟对讲是当前社会中一种十分重要的无线通信工具，在各类手机无法使用的应急通信当中，它发挥着不容忽视的巨大作用。其采用 FM 调制，将麦克风采集的模拟的语音信号直接调制到射频载波上面，通过专用频段点对点或组播传输，完全不依赖基站或 IP 网络，仅需基础硬件即可实现语音通话。再通过专用频段点对点或者以组播方式进行无线传输。此方案完全不依赖运营商方面的基站设施或者是 IP 网络资源，只需要一些基础硬件，就能够去完成语音通话的功能实

现。与此同时，它还具备有像动态的信道选择这样的机制，如此一来便能够使其抗干扰能力这方面的特性得到提升。

在矿井这样的特殊作业环境当中，这种技术方案是能够在数百米乃至数公里范围的巷道内部，来保持一种稳定可靠的通信状态的，从而满足到矿工在像是日常巡检作业、调度对讲沟通以及紧急情况下的呼救等等这些方面的实际需求。与此同时，矿井这样的环境下，安全帽里面的组件小型化是当中最为主要的一个特点，尤其是要集成在安全帽这样随声佩戴的装备当中，其内部各种元器件的密度将会很高，相互之间也容易发生干扰。如果处理不当，导致其在工作中产生了严重的电磁干扰，就会影响到整个电路系统^[13]。为了方便佩戴和使用以及产品的生产，模拟对讲相较于其它的方案整体上是更加适合矿井场景的。

2) IP 网络语音通信技术

IP 网络语音传输，即 VoIP，它是建立在 IP 技术上的分组化、数字化传输技术，其基本原理是通过语音压缩算法对语音数据进行压缩编码处理，然后将这些语音数据按 IP 等相关协议进行打包，经过 IP 网络将数据包传输到接收地，再将这些语音数据包串起来，经过解码解压处理后，恢复成原来的语音信号，从而达到由 IP 网络传送语音的目的^[14]。然而，就矿井深部区域的信号覆盖而言，其所呈现出来的难度可以说是非常之大的，这就需要在每一个工作面以及那些辅助巷道之类的地方去部署上多个 AP、微基站，又或者是光纤中继设备，与此同时，还需要把网络冗余以及切片隔离这方面的工作给做好，这样做的目的，就是为了防止网络节点那里出现单点故障这样的情况。像是网络抖动、时延以及丢包这些现象之类的，它们都会直接影响到语音通话所呈现出来的质量效果；通话质量受到网络好坏的影响。并且在停电时候无法使用，这在真正遇到问题时候不能通话有很大的风险的。同时，VoIP 模块功耗相对较高，设备在通话时电流峰值可达数百毫安，对安全帽内的电池容量和散热设计提出更严格的要求，综合来看这个方案并不适合。

3) 卫星语音通信技术

卫星通信具有覆盖范围广、实时性强、抗干扰的能力强等特点，可在无地面网络覆盖区域或地面常规通信基础设施遭到破坏的情况下提供独立的应急通信服务^[15]。其通过 LEO 或 GEO 卫星链路，提供几乎全球无缝语音覆盖，不需要依赖

任何地面铺设的网络基础设施，就能够去轻松完成远距离的通话任务，这种特性使得它尤其适用于像是在应急救援行动当中，或者是在人员与外界失去联络这种极端状况之下所进行的跨区域通信联络等场景。但矿井井下环境因遮蔽天空，无法很好的与卫星保持视距链路，必须在井口或地面搭建高增益天线与中继站，然后通过光纤或者无线微波回传至井下的节点，再由井下终端回传至安全帽，系统集成复杂度和建设投入大幅提升。并且，由于卫星链路传输时延长，数据传输的实时性受到一定影响，同时，卫星通信环境的复杂性也可能导致数据传输的稳定性下降^[16]，这对矿工的生命安全有着极大的影响。卫星通信终端本身存在的尺寸规格方面通常是相对比较大的，其运行时的功耗表现以及对电池续航能力的需求相应也会更高一些；与此同时，卫星通话的资费标准也是比较贵的，不适合矿井大规模、日常对讲进行使用，一般作为应急备份方案，将其集成到小的安全帽里面更是不太合适，但是其可以在矿井外部设置一个卫星终端应急备用。

经过对覆盖范围、通信稳定性、系统成本、部署复杂度和安全合规性等多维度比较与权衡，最终选择射频模拟对讲技术。该方案在保证高抗干扰性、低延迟及安全认证的前提下，可利用现成的对讲模块快速集成到安全帽中，满足矿井内日常通信和应急呼叫需求，同时具备较低的设备采购和维护成本。

2.2.4 数据通信技术可行性

在矿井多功能安全帽的通信技术选择中，4G 无线通信技术、Wi-Fi 和 LoRa 各有其特点，为了准确的确定方案，需要对这几种技术进行仔细的可行性分析。

1) 4G 无线通信技术

第四代移动通信技术，简称 4G。它是集 3G 与 WLAN 于一体，并能够快速传输数据、高质量音频、视频和图像等。4G 能够以 100Mbps 以上的速度下载，此外，4G 可以部署在 DSL 和有线电视调制解调器没有覆盖的地方^[17]。4G 技术具备较强的抗干扰能力和稳定性以及它拥有较高的数据传输率与容量，就特别适用于煤矿这种特殊环境，能够满足煤矿对大量数据传输的需求。同时，具有较强的系统兼容性和扩展性，便于与其他系统进行集成和互联。从实际情况来看，4G 技术在煤矿无线通信系统中的应用已经比较成熟，目前正朝着技术融合方向转型^[18]。

对于矿井中矿工安全帽这个设备情况就不同了，4G 模块自身在功耗方面的特性是比较高的，这就需要去进行一种复杂的电源设计工作，才能来支持它长时间

去运行下去。如此一来便会去增加安全帽本身的重量以及成本会导致线路布局严重,进而会影响到佩戴时候的舒适感觉。除此以外,4G 模块本身以及相关的流量费用,其成本也是比较贵,并且在深入矿井的一些区域,信号的穿透能力也会受到一定的限制,这就需要去进行额外的基站或者是中继设备的部署工作,从而会进一步地去提升建设和维护方面的成本支出。对于多功能安全帽,4G 的高功耗、高成本和部署复杂性使其在长期使用和大规模部署中的可行性较低,尤其不适合对便携性和成本敏感的场景。

2) Wi-Fi 通信技术

Wi-Fi 通信技术是近年来应用较多的矿用无线通信技术之一,与其他矿用无线通信技术相比,具有如下几个特点:组网灵活、融合性好、兼容性高、通信速率多样性、布网成本低等特点^[19]。它工作在 2.4GHz 和 5GHz 频段,能够支持高速的数据传输和低延迟通信,广泛应用于各种场景中,尤其是在设备连接性强、数据量大的应用环境当中。对于矿井多功能安全帽的通信需求,Wi-Fi 技术具有显著的优势,尤其是在已有 Wi-Fi 网络覆盖的矿井环境中。Wi-Fi 通过部署中继器或 Mesh 网络可灵活扩展信号覆盖,适应矿井复杂地形和多障碍环境,确保信号稳定性和可靠性。如今有很多经济高效的 Wi-Fi 模块,如乐鑫的 ESP8266 或 ESP32,具有低功耗、体积小并且易于集成等方面的特性,非常适合被拿来嵌入到安全帽的内部去,如此一来便能够显著地去降低设备在设计方面的难度以及整体的成本投入。因此在性能、成本和部署便捷性方面具有高可行性,是矿井复杂环境中的理想选择。

3) LoRa 通信技术

LoRa(超长距低功耗数据传输技术)是 LPWA(低功耗广域)技术的代表,为物联网的低速率、低功耗、远距离、多连接应用而设计,在地面已成功应用于远程抄表、资产跟踪、智能停车、智慧社区、智慧农业等领域^[20]。但是对矿井这种情况来说,将 LoRa 移植在矿井中较小的矿工安全帽中,需要解决射频信号在巷道中传播时产生的路径损耗和多径衰落的问题,这 2 个问题使得通讯距离大打折扣,想要完全实现矿山长距离地下与地面的无线连接,还需要克服环境因素的影响^[21]。对于矿井多功能安全帽的应用,LoRa 技术在低频数据传输、设备状态监测和定位信息传输等场景中确实具有一定的优势,特别是在远距离、低带宽需求的情况下,

能够有效延长设备的使用时间并减少电池更换的频率。然而，由于其数据速率低和响应时间较长，LoRa 并不适合需要实时性较高的任务，如语音通信和实时数据传输以及命令接收，因此其在矿井多功能安全帽的全面应用中存在一定局限性。

综上所述，Wi-Fi 通信技术在矿井中多功能安全帽的数据通信中，能够提供高效、稳定且低成本的解决方案，能够满足复杂环境下的实时数据传输的需求，是在矿井这样的特殊场景下可行性较高的技术选择。

2.2.5 远程控制 APP 技术可行性

远程控制 APP 是矿工安全帽系统当中一个重要的组成部分，旨在为矿井管理人员提供实时监控与控制矿工安全帽的能力。以下是几种 APP 开发技术的一个简要对比。

1) 原生开发技术

原生开发就是针对像 Android、iOS 这些不同的操作系统来选用它们官方所推荐的编程语言以及工具集去进行独立的应用构建。这种方式的核心优势就在于它能够去最大限度地挖掘以及利用设备的硬件资源还有操作系统的特性，这样一来，就可以去实现最佳的运行性能以及最流畅的用户体验了。不过，原生开发的主要不足之处就在于它成本比较高，而且开发周期也比较长。由于需要为不同的平台去分别组建开发团队并且编写独立的代码库，也就是在各自的移动操作系统上进行原生应用的开发，会带来昂贵的开发费用、耗费大量人力、增加修改维护难度，若仅仅对部分功能进行细微修改，也不能避免在各个操作系统上单独进行版本改动^[22]。此外，原生开发需要专门的技术人员来开发和维护不同平台的代码，这对于小型团队或预算有限的项目来说，可能是一项沉重的负担。

2) 跨平台开发框架

跨平台框架为在多个操作系统上去高效部署应用提供了一个途径，在众多为高效多系统应用部署提供途径的跨平台框架当中，像 React Native、Flutter 等，Apache Cordova 凭借着它的 Web 技术核心，成为了一个很关键的范例。它的核心价值就在于能够借助统一的代码库来显著缩短开发周期、降低成本，并且简化维护工作。其中的 Cordova 就是一款开源的移动开发框架，可用标准的 Web 技术进行跨平台移动应用程序的开发，在 Web 页面也可以使用 Cordova 丰富的插件调用原生代码，获取设备相关信息、调取手机摄像头等，Cordova 具有以下优点：

跨平台，开发一个应用程序，可以在不同平台使用包括 **Android**，**IOS**；开发效率高，迭代更新容易；开发出来的 **App** 很小^[23]。所以对于那些追求快速上市、想去移植现有 **Web** 应用，或者是在预算和时间有限，并且对极致原生性能要求不高的项目当中，**Cordova** 就展现出了卓越的成本效益以及开发速度。它那庞大的社区以及丰富的插件生态也进一步增强了对原生设备功能的访问能力。

综上所述，**Apache Cordova** 凭借着它低成本、快速开发的特性，特别适合于矿井环境当中对远程控制 **APP** 的快速部署需求，它的技术可行性很高。

第3章 系统设计与实现

在本章当中，将会阐述多功能智能矿工安全帽的系统设计方面以及具体的实现方案，这当中会去涵盖诸如总体的设计目标、系统架构的搭建、硬件模块方面的选型工作与相关的电路设计过程，与此同时，还会涉及到嵌入式软件以及远程管理 APP 方面的开发过程。这个系统是被拿来以 STM32 单片机作为其核心构成部分，通过借助对定位、环境监测、通信、照明和报警这些功能模块加以集成起来的方法，借助于物联网技术方面的手段进而去实现远程的监控和控制操作，如此一来便能够满足在矿井那样的复杂环境状况下的种种安全方面的要求。

3.1 总体设计

3.1.1 设计目标

多功能矿工安全帽对精确定位、环境监测、照明、语音通信和远程管理这些功能加以集成，能够让矿工在矿井复杂环境中的安全保障以及工作效率方面的表现得以全面提升。系统可以去实现矿工位置的实时精确定位。定位信息会同步显示在本地 OLED 屏幕和远程 APP 上面去。温湿度传感器以及烟雾传感器会去实时监测环境参数。只要检查到异常情况，就会去触发本地的报警机制，并且报警消息会被推送到远程的平台上面。高亮度 LED 照明拿来支持手动和远程控制两种方式，可以去确保矿工在低光环境下的操作安全。对讲模块对矿工与指挥中心之间的语音通信效果加以保障，在紧急情况下能够去实现实时的沟通联系。Wi-Fi 模块和 MQTT 协议可以去实现数据的实时上传以及远程指令的下发动作，系统本身还去具备了良好的扩展性方面的特性。未来可以去接入更多的传感器模块，如此一来便能增强整体的安全保障水平。

3.1.2 系统架构设计

系统分成了智能安全帽终端、无线通信网络和远程管理平台即 APP 三部分。安全帽终端以 STM32F103C8T6 单片机主控制器，硬件上集成了 GPS 定位、温

湿度、烟雾传感器、LED 照明、蜂鸣器报警和 Wi-Fi 通信模块以及语音对讲模组，通过 MQTT 协议与 EMQX 服务器进行交互，实现收发数据。远程 APP 将会订阅 EMQX 服务器的 Topic，获取安全帽终端的实时数据用以展示再 UI 界面上并且管理员可以在 APP 上下发控制指令。语音通信则通过在 MCU 的控制下使用对讲模组来实现的。硬件模块通过 UART、I²C、GPIO 等接口与单片机连接，软件采用了模块化设计，分层解耦的架构使得程序更加的高效灵活。图 3.1 为系统架构图。

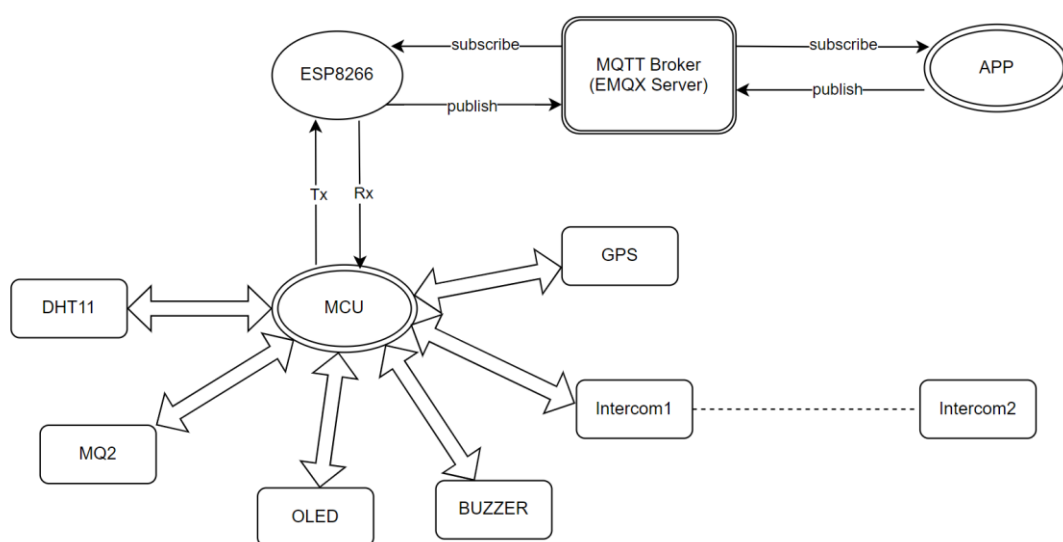


图 3.1 系统架构图

3.2 硬件电路设计

硬件电路为主要分为五个部分，分别是单片机最小系统、电源模块、环境监测模块、通信模块以及语音对讲电路的设计。

3.2.1 单片机最小系统电路

为了确保 MCU 能够正确的与周围硬件电路进行通信，我们需要保证单片机的最小系统是完整的，这就包括了复位电路、boot 启动电路以及晶振电路，还有 SWD 程序下载接口。具体来说利用 LDO 将 USB 的电压降至 3.3V 给整个电路供电。晶

振电路是用来给整个数字电路信号的。复位电路使用官方推荐的上拉电阻方法并且并联电容进行滤波去耦，单片机的最小系统电路设计见图 3.2。

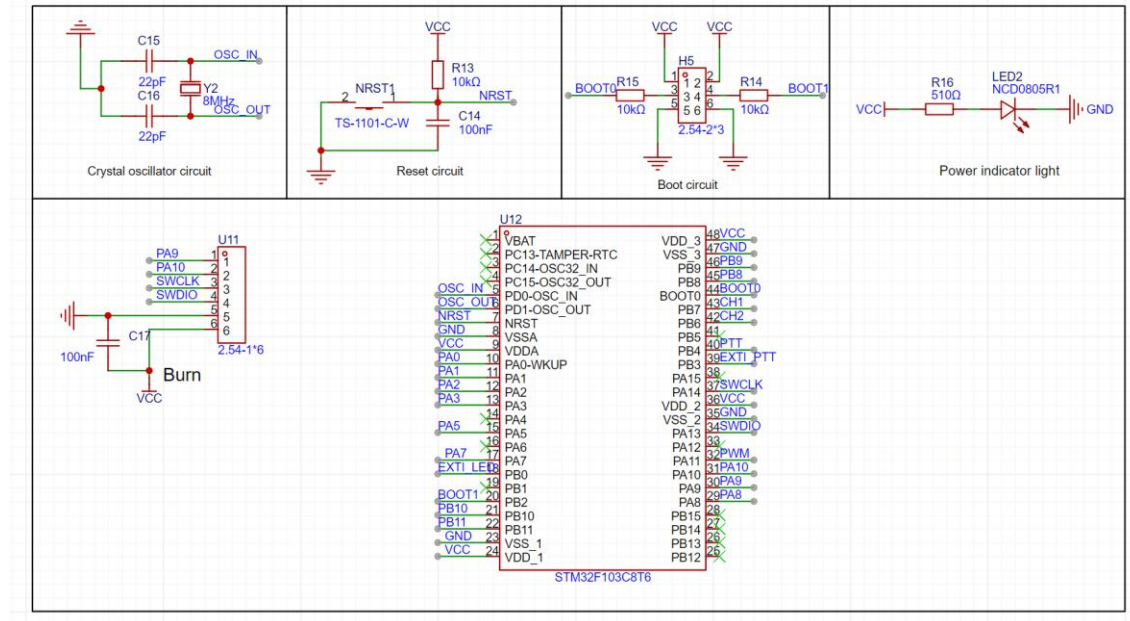


图 3.2 单片机最小系统

3.2.2 电源电路

系统通过 USB-Type-C 接口输入 5V 电源，使用 AMS1117-3.3V LDO 将电压降至 3.3V，给 MCU、环境监测传感器、通信模块供电。LDO 输入端并联 10 μ F 和 100nf 电容滤除高频噪声，输出端并联 10 μ F 和 0.1 μ F 电容稳定电压，电路设计见图 3.3。

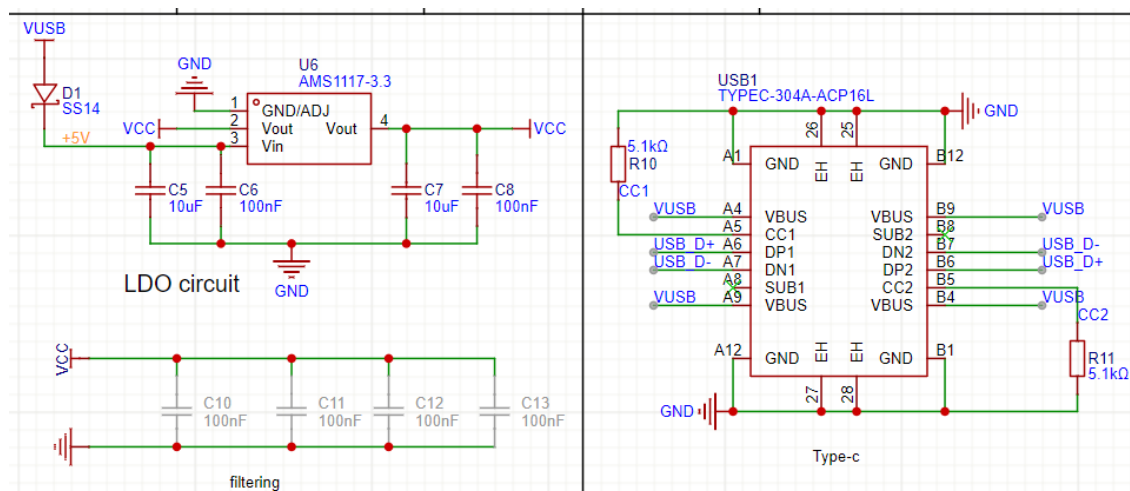


图 3.3 电源模块设计

3.2.3 传感器电路

1) 温湿度传感器电路

温湿度传感器模块选用的是广州奥松电子有限公司生产的 DHT11 数字温湿度传感器。这款传感器在消费级应用当中是非常普遍的，这主要是因为它拥有简易性以及较高的性价比。

DHT11 的数据引脚会连接到 STM32 的 GPIO (PA8) 上，并且会配置为开漏输出，在外部会接入一个 $4.7\text{ k}\Omega$ 的上拉电阻并连接到 3.3V。单片机会通过单总线协议来读取 40 位的数据，它的采样周期大约是 2 秒，主要是为了降低功耗，但其实这个采样频率已经完全符合矿井环境监测的需求，也足以保持矿工安全的实时监测。

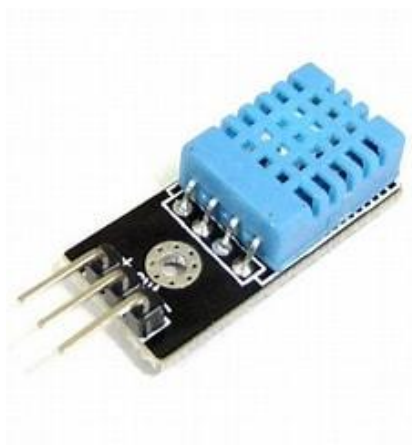


图 3.4 DHT11 温湿度传感器

2) 烟雾传感器电路

烟雾传感器选用的是 MQ-2 气体传感器，他对液化气、甲醇的灵敏度比较高，同时也可以检测甲烷以及其他的可燃蒸汽。

MQ-2 的模拟输出引脚 AOUT 会直接连接到 STM32 的 ADC 输入引脚 PA1 上的。通过配置 STM32 内置的 12 位 ADC 去对这个电压进行采样，就能够得到 0 到 4095 的数字量，它会对应 0 到 3.3V 的电压范围。加热丝引脚需要稳定供电，这里我们设计为连接到 3V 电源 VCC，热丝的引脚是被连接到 3V 电源 VCC 上面的，如此能够确保传感器可以正常地来工作，因此需要先加以预热一段时间，才能够让输出变得稳定起来。

3.2.4 数据通信电路

无线数据传输选用的是乐鑫公司出品的 ESP8266 Wi-Fi SoC, 并经过安信可封装的 ESP-01S 模组无线数据传输模块的电路设计是 ESP-01S 模块的 TXD 引脚是连接到 STM32 的 UART2 接口 PA2 (RXD) 上面的, 而 RXD 引脚, 则是被连接到 PA3 (TXD) 上面, 便能够实现串口数据的收发, 从而去获取网络数据。模块的 VCC 引脚是被接入到 3.3V 电源, GND 引脚则是直接接地, 如此一来便能够确保稳定方面的供电。STM32 常常会通过 AT 指令集来控制 ESP-01S, 去执行 Wi-Fi 网络扫描、连接 SSID, 又或是建立 TCP/UDP 连接以及数据收发之类的操作。

该设计是利用 ESP8266 所具备的高度集成以及内置的 TCP/IP 协议栈, 从而来加以简化网络通信的, 通过借助 UART 通信, 从而确保了实时、可靠地来交互数据, 如此一来便能够满足物联网应用那种低成本以及高效率的要求。

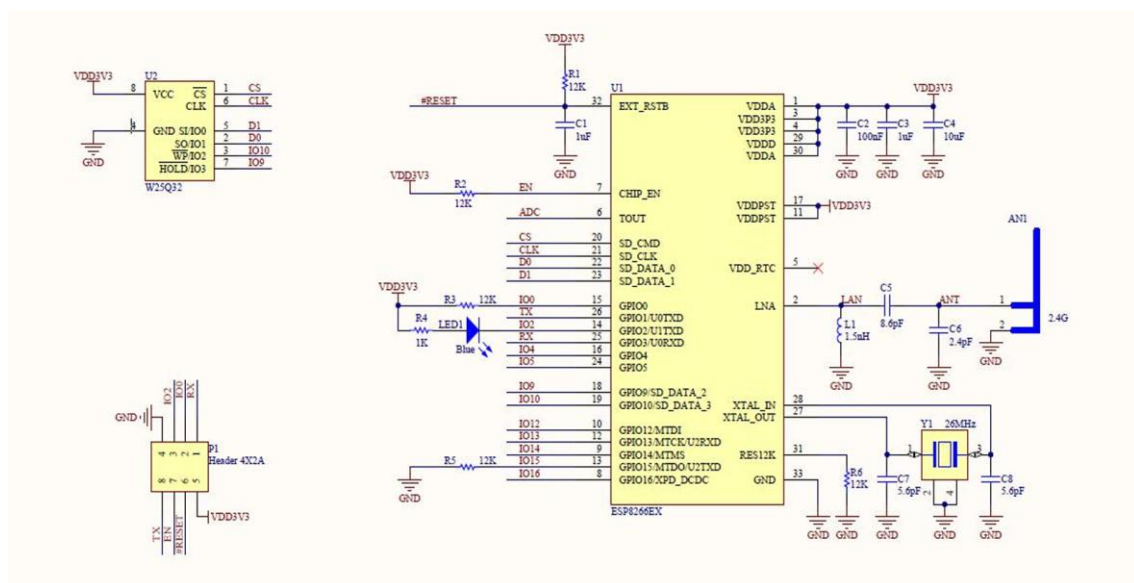


图 3.7 ESP-01S 电路原理图

3.2.5 语音对讲电路

该语音对讲模组采用的是模拟对讲技术, 需要给它装上对应的麦克风和扬声器。将模组的 CH1 和 CH2 引脚接到单片机的两个 GPIO 引脚上, 实现动态切换频道, CALL 使用按键接地, 这样保证按下时能够播放出拨打铃声, PTT 引脚则是接 MCU 的外部中断引脚, 这样按下按键之后同频段的对讲模组就可以实现语音通话。

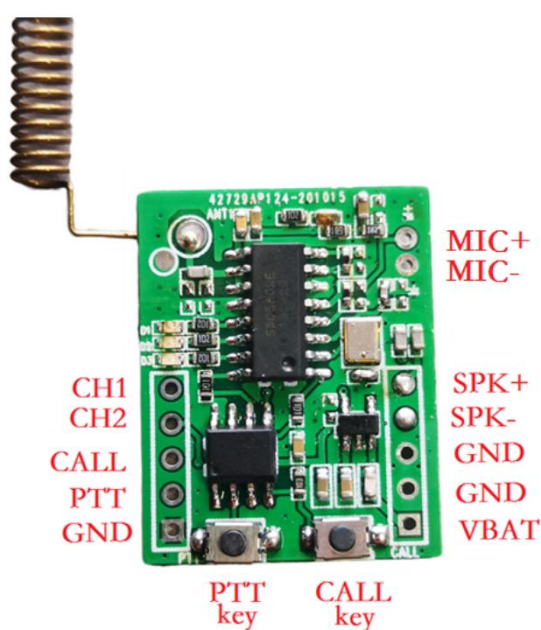


图 3.8 语音对讲模组

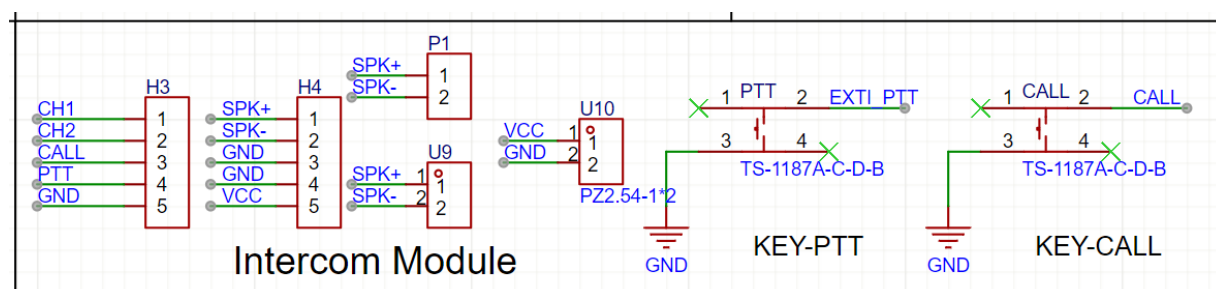


图 3.9 语音对讲电路设计

3.3 单片机程序设计

3.3.1 设计概述

单片机程序设计作为整个智能矿工安全帽系统的核心环节，它负责对各硬件模块的工作进行协调，功能方面囊括了传感器数据采集、GPS 定位解析、MQTT 通信、以及报警控制与显示等。其整体设计是基于 STM32F103C8T6 微控制器来开展的，选用了 C 语言来进行开发，Keil MDK 作为开发环境。这个程序选用的是中断驱动以及定时器轮询机制，以此来确保系统可以高效地运行并具备实时性。图 3.10 所示的便是这个程序的流程图。

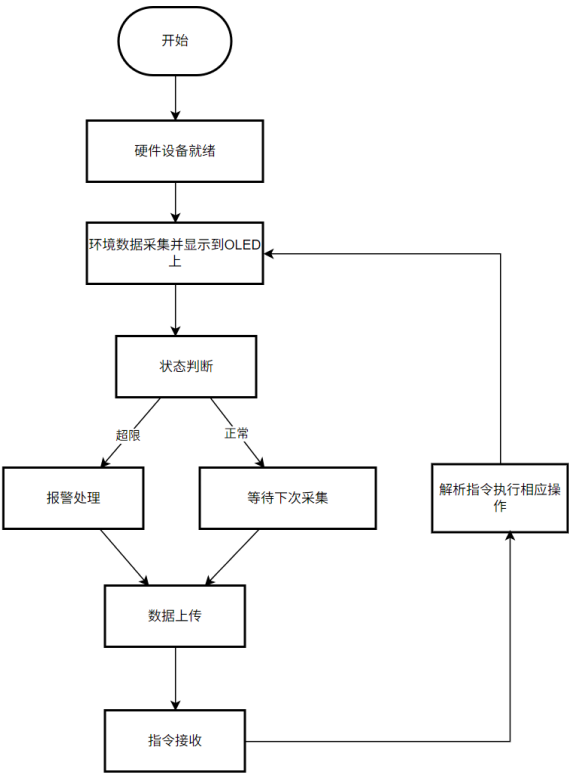


图 3.10 程序流程图

3.3.2 资源分配

为了有效地管理 MCU 的资源，确保外设资源的高效使用，需要将 MCU 的外设资源进行精细的划分，表 3.1 是资源分配表。

表 3.1 资源分配表

硬件模块	外设资源	引脚	用途
GPS	USART3	PB10 (TX), PB11 (RX)	定位
ESP8266	USART2	PA2 (TX), PA3 (RX)	WIFI 通信
DHT11	GPIOA	PA8	温湿度检测
MQ-2	ADC1	PA1	烟雾浓度检测
OLED	IIC	PA5 (SCL), PA7 (SDA)	屏幕显示
LED	GPIOA	PA4	安全照明
KEY	GPIOB	PB0	开关照明
BUZZER	GPIOA	PA0,PB9	报警功能

3.3.3 功能实现

1) 烟雾浓度检测

烟雾浓度的检测是使用 MQ-2 传感器来进行的,该传感器所输出的模拟信号会借助 STM32 的 ADC 接口,也就是 PA1,来进行采集。单片机当中的 ADC 模块负责把这个模拟信号转换为数字信号,并且会凭借其内置的定时器,即 TIM2,去进行周期性的进行采集工作。每一次数据采集操作完成了之后,STM32 便会对当前的烟雾浓度同预先设定的阈值去进行比较。要是检测到的浓度超出了标准,那么 STM32 就会马上驱动蜂鸣器,拉高 PA0 的电平,来发出对应的警报信号。核心处理逻辑如图 3.11 所示。

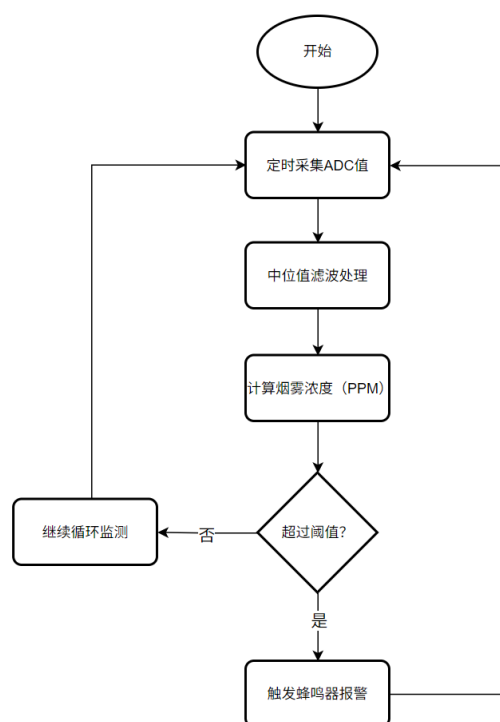


图 3.11 烟雾浓度检测

2) 温湿度检测

对于温湿度的检测这个方面,系统是选用了 DHT11 传感器来进行的。凭借单总线协议,STM32 的 GPIO 口,也就是 PA8,会同 DHT11 去进行通信,从而读取到温湿度数据。在数据采集的整个过程当中,需要去准确地对单片机的引脚时序进行控制,以此来确保信号能够被正确地接收到。单片机会借助定时器来实现定

时的数据采集工作，并且会把所读取到的温湿度值同设定好的安全阈值进行一番比较。要是所得到的数据超过了预设的这个设定值，单片机便会借助 GPIO 口来触发蜂鸣器响起以及 LED 灯闪烁，从而进行报警的动作。

3) 自动报警

系统的自动报警功能是基于定时器，也就是 TIM2 的周期性中断来开展的。在每一个定时器周期当中，单片机方面会去读取报警标志位，要是这个标志位被置位了，那么就会去执行报警的操作，也就是说蜂鸣器会响起，并且在主循环里面把对应的消息发送到服务器上。

4) Wi-Fi 通信

Wi-Fi 通信模块，即 ESP8266，是借由 USART2 接口，也就是 PA2、PA3，同 STM32 单片机实现连接的，它选用的是 AT 指令集来进行配置以及通信。凭借 UART 接口，单片机能够把传感器数据以 JSON 格式传输至远程平台，并且还会去接收远程下发的命令。在数据上传以及控制指令的接收这个方面，STM32 会借助定时器去开展数据传输周期的管理工作，与此同时，还会凭借中断去处理所接收到的命令。这样一来，就使得系统可以在低功耗的状态之下稳定地去运行，并且还能够有在需要的时候快速地去响应外部的指令。其核心处理逻辑见图 3.12 所示。

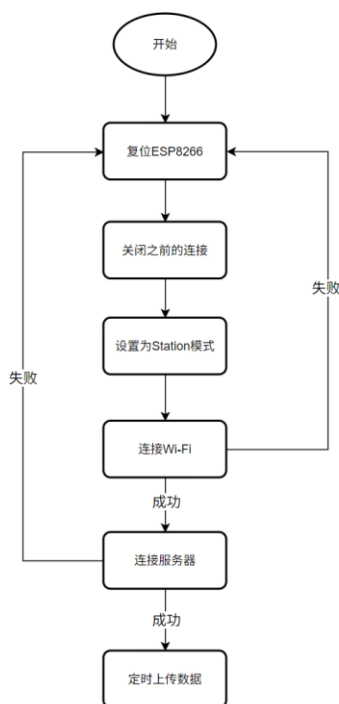


图 3.12 Wi-Fi 通信核心逻辑

5) GPS 定位

在 GPS 定位模块方面，STM32 是借由 USART3 接口，也就是 PB10、PB11，同 NEO-6M GPS 模块实现连接。STM32 会凭借 NMEA 协议去进行 GPS 模块所返回的定位数据的解析工作，从而来实时地获取到矿工的经纬度信息。GPS 数据的处理工作是由 STM32 的 UART 接口以及中断机制来共同完成的。在每一次进行数据采集的时候，STM32 会把经过解析后的 GPS 数据通过 OLED 显示屏，也就是 PA5 以及 PA7，进行实时的显示操作，并且把它上传到远程管理平台。

3.4 远程控制 APP 设计

3.4.1 设计概述

远程管理 APP，它在 MineSafe 系统里面担当一个移动端工具的角色，其目的在于为矿井安全去进行实时的监控以及设备方面的管理工作。管理员可以运用这个 APP 来进行查看像温度、湿度、以及烟雾等等的环境数据，也可以对头盔设备进行控制，以操作灯光的开关或者触发预警，同时还可以进行一个阈值的设置，来应对那些异常情况的发生。这个应用的开发工作是基于 HTML5、CSS3 以及 JavaScript 来开展的，并且它选用了 Apache Cordova 来进行打包工作，使其可以成为一个 Android 应用，这样它就能够适宜于在移动设备上加以使用。在数据通信这个方面，它是借助 MQTT 协议来实现的，如此便可以确保信息能够得到实时的传递。本小节内容将会介绍一下这个 APP 的架构设计、它所拥有的功能实现以及消息格式。为了能够将这些目标都加以实现，是选用了 HTML5 以及 JavaScript 来作为前端方面的核心技术，同时也会结合运用 MQTT.js 库来进行实时通信的处理，而 Apache Cordova 则会被运用在移动端的打包工作当中。这样的一种技术组合方式，它不仅降低了开发方面的成本，同时也对整个系统的可维护性以及扩展性进行了提升。

3.4.2 功能实现

在远程管理 APP 当中主要包含了如下的四个核心功能模块部分：用户认证、环境实时监测、设备控制以及状态日志。接下来会逐一阐述它们的具体实现方法。

1) 管理员认证

管理员认证这个功能的实现，是依靠登录页面来完成的，仅有获得授权的用户才被允许去访问该系统。登录界面会选用 HTML 表单，当中会包含用户名以及密码的输入区域，而 CSS Flexbox 布局则会确保这些元素能够居中进行显示。JavaScript 中的 `attemptLogin()` 函数会去进行验证，看输入的内容是不是预设值（具体来说，用户名和密码都被设定为“chan”）。要是验证顺利通过之后，那么登录页面便会被隐藏起来，之后主应用界面则会进行显示，并且还会去启动 MQTT 的连接过程，管理员认证的界面可以参考图 3.13 所示。

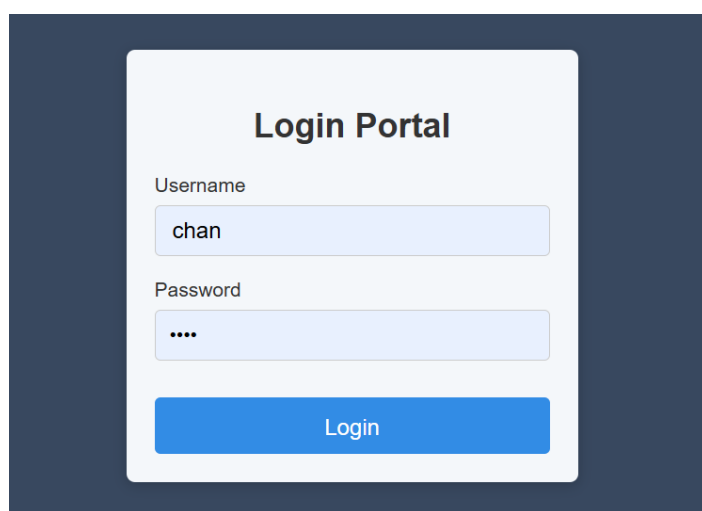


图 3.13 管理员登陆界面

2) 环境数据监测

环境数据监测主要是要去负责实时获取并展示智能头盔传感器所采集的环境数据，这当中包括了温度、湿度、烟雾浓度、照明状态、地理位置以及危险状态。系统会通过 MQTT 协议去订阅“helmet/status”这个主题，从而接收 JSON 格式的状态消息，并且会调用 `updateMonitoringData(data)` 这个函数去解析并更新那些对应的界面元素；布局方面会采用 CSS Grid，每项数据都会以卡片的形式来呈现，要是危险状态为真的时候，相应的卡片就会自动闪烁并且显示顶部的警告条。它主要是通过调用了编写的 `updateMonitoringData` 函数，以此来实现对各个数据的获取以及更新工作。其中，地理位置数据会借助 `convertToDMS` 函数把十进制度数转换为度分秒格式，同时也会结合半球标识来显示为中文标签（比如“东经”），并且会以两行的格式来呈现出来。警告条在危险状态触发的时候就会显示出来，管理员可以点击它来关闭。其核心逻辑见图 3.14。

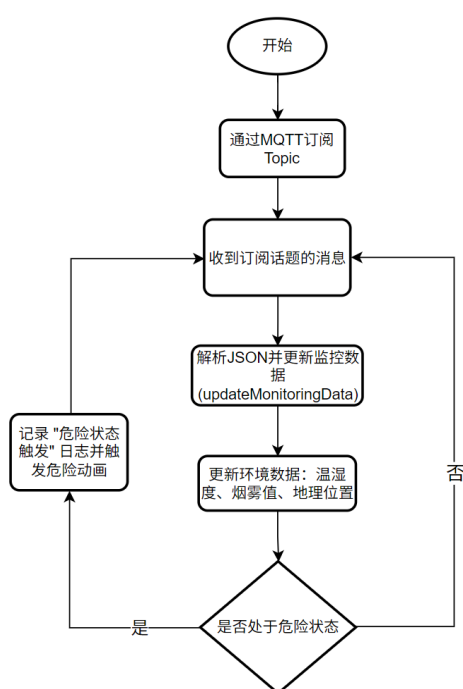


图 3.14 环境数据监测核心逻辑

环境数据监测界面最终效果如图 3.15:



图 3.15 环境监测界面

3) 设备控制

设备控制这个功能，主要是运用远程命令来对智能头盔的照明系统和预警功能进行实时的管理工作，并且还支持管理员进行自定义阈值方面的设置。这个模块它会借助 MQTT 协议来和头盔终端进行通信，向 "helmet/cmd" 这个主题去发布 JSON 这种格式的控制指令，以此来实现对光源开关、预警触发以及像是温度、湿度和烟雾这些阈值进行灵活的控制。接下来的内容就是它详细的设计说明。

(1) 照明开关

当用户在 APP 上面点击了“开灯”或者“关灯”这样的按钮之后，系统便会

去生成相应的指令，比如说 { "light_switch":"on" } 或者 { "light_switch":"off" }，并且把这个指令发布到“helmet/cmd”这个主题上面去。终端在接收到这个指令之后，会马上对 LED 灯组的状态进行切换，同时会把这个操作所产生的结果，通过状态上报的方式，反馈给后台系统。

(2)远程预警

在矿井当中出现了某些突发的危险状况的时候，那么管理员就可以在 APP 里面去发起远程预警的操作，也就是去发送 { "remote_warning":"activate" } 这样的指令。安全帽在接收到这个指令之后，它就会去触发蜂鸣器以及指示灯来进行报警，并且会把“danger”这个字段的数值设置成为 true，然后上报到管理平台那里，这样就能方便指挥中心方面去作出迅速的响应。而在需要解除预警的这个时候，那么就会去发送 { "remote_warning":"deactivate" } 这个指令，设备在接收并解析后会立马驱动蜂鸣器停止警告。

(3)阈值调整

为了能够灵活地去应对环境当中的一些变化，APP 这个应用它支持对温度、湿度以及烟雾浓度这些阈值去进行动态的修改工作。在修改界面里面输入了新的阈值之后，系统就会分别地去生成像是 { "temperature_threshold":30.0 }、{ "humidity_threshold":80.0 } 或者 { "smoke_threshold":2000.0 } 这一类的指令。终端在接收到这些指令之后，就会去更新它本地所存储的阈值参数，后续的传感器在进行数据采集的时候，就会依据这些新的参数来判断是否需要去触发报警。系统设备控制界面的最终效果如图 3.16。

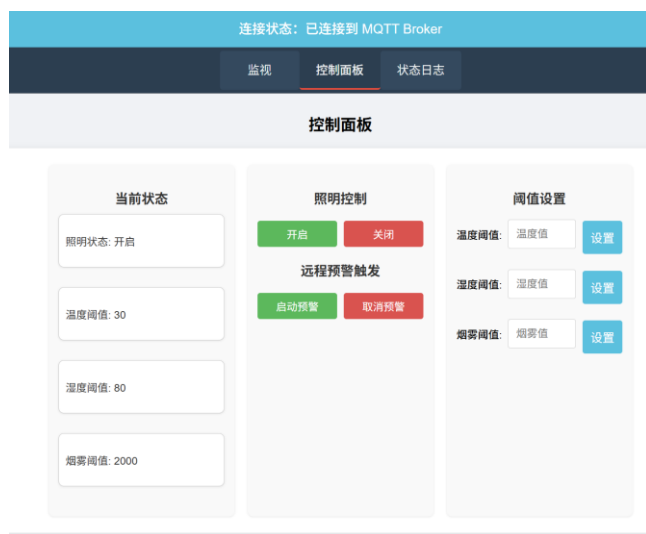


图 3.16 管理员控制面板界面

4) 状态日志

状态日志这个模块，它的主要作用是用来记录系统当中的一些事件，比如像是危险情况的触发、灯光的开关操作以及阈值的更新等等。这些日志条目信息会按照时间的倒序方式去进行显示，与此同时，添加了 CSS 样式来对日志所呈现出来的显示效果加以优化，如此一来便能够确保每一个条目都能够清晰地展示出来，并且也能够去支持进行滚动的查看操作。它是通过借助 `addLogEntry` 这个函数来去将日志其动态添加到界面当中去的，最后日志效果如图 3.17。



图 3.17 日志界面

5) 通信消息格式

在通信协议方面，选用的 MQTT 这种协议，相关的消息会以 JSON 这种数据格式来进行传输，并且可以把它们划分为上行以及下行这两个主要的类别。

(1) 上行消息格式

上行消息就是由安全帽这一端发布到名为 “`helmet/status`” 的这个主题上面的，其内容主要囊括了环境方面的数据信息、安全帽自身的配置情况，以及它的当前状态。

具体来说，这些字段会包括环境数据，也就是指温度、湿度和烟雾这些信息，还包含了地理坐标，这个坐标是由经度、纬度以及所在的半球所共同组成的，另外还有设备的状态，比如说照明情况、是否处于危险状态，以及相关的阈值设定。

```
{
  "temperature": 25.3,
  "humidity": 60.5,
  "smoke": 150.7,
  "latitude": 39.9042,
  "latitudeHem": "N",
  "longitude": 116.4074,
  "longitudeHem": "E",
  "light": "off",
  "danger": false,
  "temperatureThreshold": 30.0,
  "humidityThreshold": 80.0,
  "smokeThreshold": 2000.0
}
```

(2)下行消息格式

下行消息则是由 APP 这个应用发布到名为“helmet/cmd”的主题上面去的，它主要是被当作控制方面的指令来使用：

灯光控制：

`{"light_switch": "on"}` 或 `{"light_switch": "off"}`

远程预警：

`{"remote_warning": "activate"}` 或 `{"remote_warning": "deactivate"}`

阈值设置：

`{"temperature_threshold": 30.0}`、`{"humidity_threshold": 80.0}`、`{"smoke_threshold": 2000.0}`

3.4.3 打包与部署

在着手进行移动端的部署工作之前，需要预先去进行 Node.js、Cordova CLI、JDK 以及 Android SDK 的这些基础的安装和配置工作，并且要把它们的可执行文件路径添加到系统的环境变量当中去。在确认了这些命令行工具都可以正常地加以运用之后，就需要去新建一个项目的目录，并且借助 Cordova 来对项目的骨架进行初始化的操作。当进入到项目的根目录之后，接下来就需要去添加 Android

平台方面的支持。在这个时候，Cordova 这个工具就会和 Android SDK 进行通信，去下载所必需的 Gradle 插件以及平台相关的资源，并且还会去生成 Android 的原生工程结构，这样做能够方便后续进行资源整合的工作。需要把所有的前端资源，比如说像 HTML、CSS 以及 JavaScript 这些文件，都放置到 www 这个目录里面去，同时把 index.html 这个文件当作是应用的入口点来使用。还需要在 config.xml 这个文件当中去进行应用名称、版本号以及一个尺寸为 512×512 像素的 PNG 格式图标的配置工作，当 Cordova 在进行打包操作的时候，它会自动地去读取这些配置信息，并且把它们嵌入到最终生成的 APK 文件当中。最终打包好的 APP 如图 3.18。

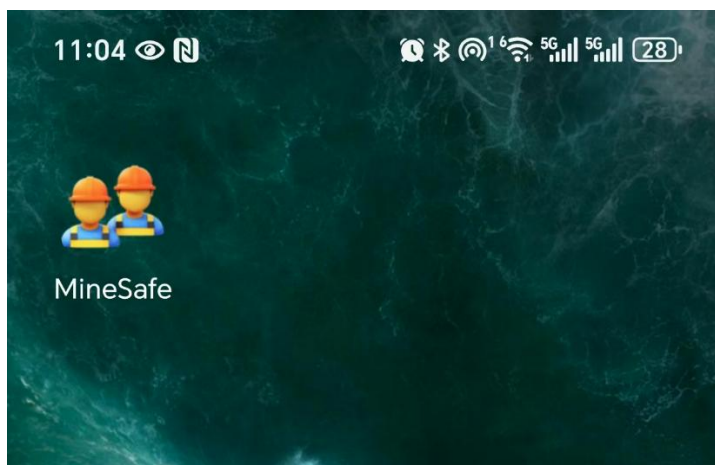


图 3.18 打包好的 APP

第4章 系统测试与验证

本设计基于 STM32F103C8T6 这款 MCU，设计了一套智能矿工安全帽系统，集成了实时定位、语音通信、照明功能、环境监测及自动报警与远程控制 app 五大功能模块。系统集成如图 4.1 所示。

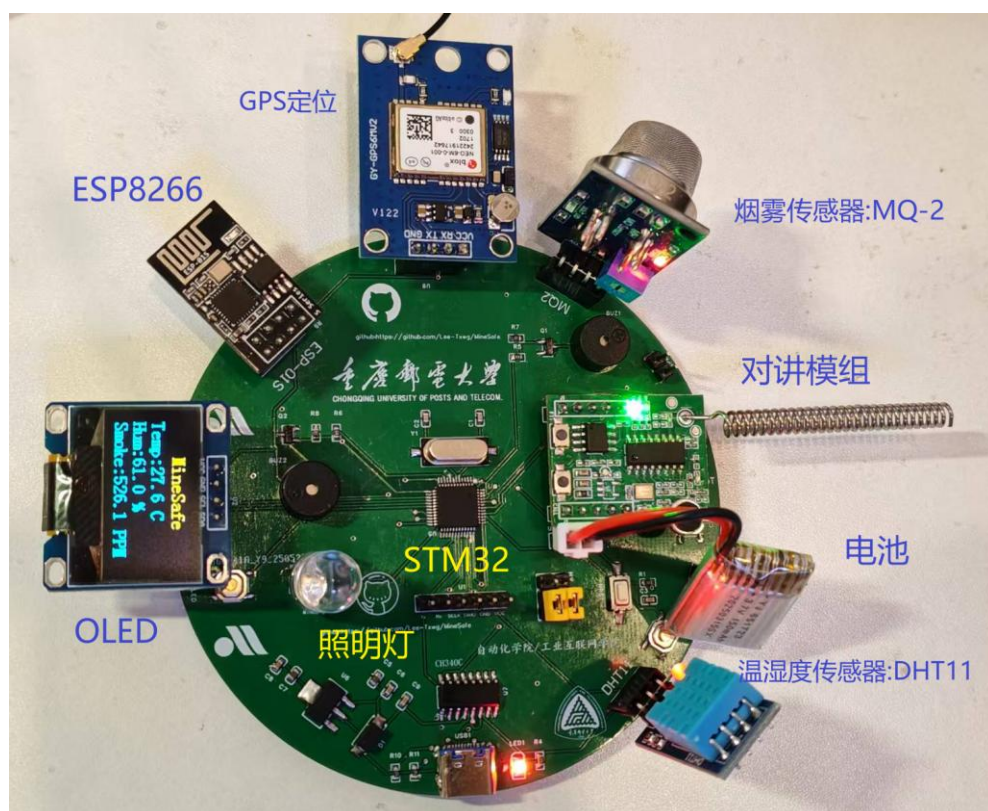


图 4.1 多功能安全帽系统实物图

其中 MCU 即 STM32 作为系统的主控，负责整个系统的核心控制逻辑。OLED 屏幕是用来显示经纬度信息、温湿度值以及烟雾值的功能。GPS 模块主要是用来获取地理位置信息的。DHT11 是用来检测温度和湿度值的。MQ-2 是用来检测环境中的烟雾值。LED 灯是用来模拟矿工安全帽上的高亮 LED 功能。蜂鸣器是用于报警功能，对讲模组的功能是用来实现语音对讲的。ESP8266 是让设备终端与云服务器进行通信的模块，使得设备上传数据到云平台以及从云平台上接收远程管理平台发布的消息数据，本章将对各个功能进行逐一测试。

4.1 系统实时定位测试

当系统上电之后，MCU 会与 GPS 模块进行串口通信，MCU 会根据写好的程序配置好 GPS 的相关参数，然后 GPS 就开始不断的开始接收卫星发来的位置信息，一旦接收到数据之后就会将数据通过串口发送给 MCU，STM32 在接收到串口数据时会产生串口中断，此时会将位置信息数据读出出来，并在主循环中进行解包。之后将数据显示在屏幕上，并将其上传至云服务器，最终流转远程管理平台。

这里将系统上屏幕上展示的数据，即 GPS 模块获取，MCU 处理后的数据作为测试数据，以百度地图查询的数据作为真实数据，分别在不同的 5 个点进行测量，并计算误差，最后根据误差大小来判断系统定位的精度。测试数据统计见表 4.1

表 4.1 地理位置信息测试表

位置编号	测量经度	测量纬度	实际经度	实际纬度	经度误差%	纬度误差%
1	105.03914	29.60528	105.04274	29.60107	0.00343	0.01422
2	105.03771	29.60976	105.03695	29.61167	0.00072	0.00644
3	105.04262	29.60421	105.03993	29.60315	0.00256	0.00360
4	105.03924	29.60870	105.03689	29.60733	0.00223	0.00463
5	105.04404	29.60643	105.04286	29.60983	0.00112	0.01146

由上表数据分析计算综合平均误差可以得出，测试数据与真实数据的误差在经度方面为 0.00064%，纬度方面为 0.00091%，实验表明通过在系统上集成 GPS 模块具有较高的准确性和可靠性。这对于矿井中去定位矿工的位置来说具有很重大的意义，这样能够在一些危险发生情况下，及时定位，保障矿工的生命安全，提升矿井作业安全性。

4.2 语音对讲测试

语音通信采用的对讲模组实现的，此款对讲模组有 4 个频道可选，通过按下 PTT 按键接通对应频道，可以与在同一频道的对讲模组进行语音通信，模拟实验采取对比实验的方法，主要测试系统的语音对讲功能是否能够实现。将系统和对讲模组放置在不同的距离位置上，先使用相同的频道判断是否能够实现语音对讲，

以及如果频道不同，是否能实现对讲功能，频道相同时不同距离下的测试结果见表 4.2，频道不同时不同距离下的测试结果见表 4.3。

表 4.2 频道相同时不同对讲距离的测试结果

对讲距离	频道是否相同	是否能够实现语音通信
10m	是	是
50m	是	是
100m	是	是
200m	是	是
300m	是	是
400m	是	否
500m	是	否

表 4.3 频道不同时不同对讲距离的测试结果

对讲距离	频道是否相同	是否能够实现语音通信
10m	否	否
50m	否	否
100m	否	否
200m	否	否
300m	否	否
400m	否	否
500m	否	否

根据表 4.2 和表 4.3 的测试结果可以知道此系统的最远传输距离大概在 300m 左右，超过 300m 语音对讲功能效果不佳，并且对讲时必须要求接发双方选择同一个频段，否则是不能够进行通话的。实验结果表明系统拥有大概 300m 的对讲距离，满足矿井中绝大多数作业情况，并且频道的选择功能确保了沟通的准确性，有效防止了串频情况的发生，适合于矿井复杂的作业环境。

4.3 照明功能测试

系统具备照明功能以此来确保矿工在特殊情况下的照明需求，系统采取的外

部中断实现照明控制，系统上有一颗按键，按下时就会产生一个外部中断，当外部中断产生时就会翻转 LED 实现系统设备终端的照明灯开关控制。

为了测试系统的照明控制功能，对系统进行了多次测试实验，反复按下按键 100 次观察 LED 照明情况的变化，图 4.2 与图 4.3 为测试单次示意图（测试开始时，LED 为熄灭状态），表 4.4 为实验经过 100 次测试结果记录。

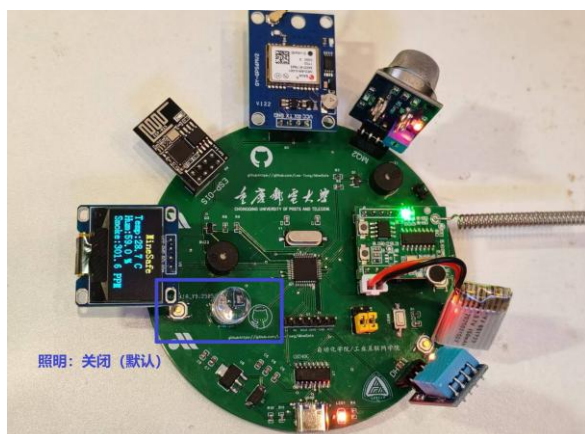


图 4.2 按键未按下 LED 熄灭



图 4.3 按键按下 LED 亮起

表 4.4 系统按键测试结果

按键按下次数	LED 翻转次数
100 次	100 次

根据表 4.4 的测试结果可知，在系统上进行大量的测试，每次控制照明都能够产生预期的结果输出，并且系统的响应时间极短，照明的亮度很高，适合矿下作业这种危险对照明要求非常高的工作环境。

4.4 环境监测及自动报警测试

在矿下作业环境中，环境的监测十分的重要，系统为此集成了温湿度传感器和烟雾传感器，以实时监测环境变化。MCU 获取到不同传感器的数据之后会对数据进行处理，并将其展示在屏幕上，当环境参数高出 MCU 固件中的预设的阈值时，触发报警逻辑使得蜂鸣器报警响起。达到警告穿戴人员的作用。并且会将告警消息推送到远程管理平台，使得管理员提前关注，避免危险的发生。

为了测试环境监测以及在自动报警逻辑是否正常，需要监测屏幕上环境参数是否准确、是否随环境变化以及报警逻辑是否正常。各阈值的初始如下：温度阈值 35 度，湿度阈值 70%，烟雾阈值 2000PPM。当环境值高于这三个值的时候，报警逻辑触发，蜂鸣器响起，并且可以警报推送到远程平台。下面对功能进行逐一测试。

首先测试系统监测环境数据的准确性和精度，采用系统测试结果与实验室高精度传感器检测数据进行对比，结果见图 4.4。

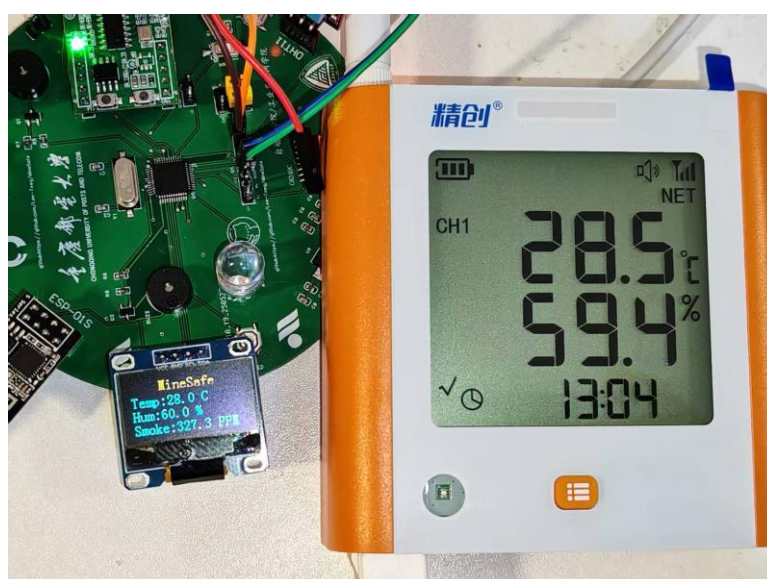


图 4.4 系统与高精度传感器测量结果对比

对数据进行长时间多次对比可以发现湿度平均误差为 1.75%，湿度平均误差为 1.1%。结果表明系统环境监测数据的精度很高，足以胜任矿井环境中数据监测的要求，能够实时反馈正确的环境数据。

对于数据实时监测变化可以采取用打火机加热的方式来进行测试，当用点燃的打火机靠近温度传感器的时候温度迅速上升，此时蜂鸣器响起，报警触发成功，设备端测试效果见图 4.5，远程管理平台接收到的报警效果见图 4.6。

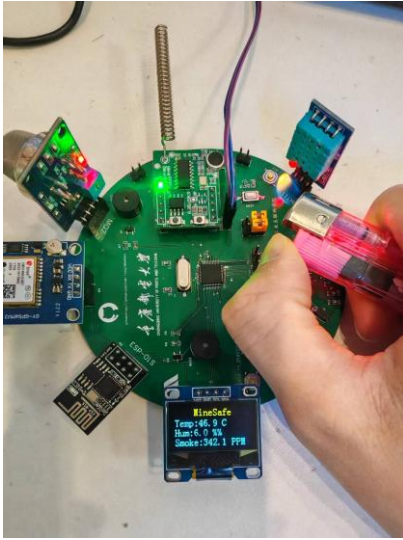


图 4.5 使用打火机靠近温湿度传感器



图 4.6 APP 接收到设备报警

测试中，打火机点燃靠近温湿度传感器，显示屏上显示的温度迅速上升，当上升到超过阈值时，触发报警逻辑，蜂鸣器响起。如图 4.5 中，温度已经达到 46.9 度，报警阈值已经达到，蜂鸣器也已响起，此时移开打火机，屏幕上的温度值逐渐下降，当下降到阈值 35 度之下时，蜂鸣器停止报警。整个测试过程中，系统均按预期变化，实现了真正的矿下环境监测功能，并且就系统的响应性能而言，十分高效，适合矿下作业这种危险环境，能够起到很好的监视作用。并且安全帽终端能够将报警消息传送至远程 APP，通知矿井的后台管理人员，提早规避危险的发生，这将极大的有助于矿井作业的安全性和工作效率。

4.5 远程控制 APP 测试

在多功能矿工安全帽中，为了应对复杂多变的矿下作业环境，必须要实现矿工的信息对矿井管理人员完全透明，这样才能保证矿工的安全，所以远程管理后台就显得尤为重要，在多功能安全帽系统的设计中，也是为安全帽设计了一个精心的管理后台，具有丰富的监控和控制功能。能够实时的把握矿工的安全情况。下面将对远程管理平台进行全面的测试。

4.5.1 系统登陆界面

由于矿工管理后台具有极高的安全等级，必须由特定的管理人员才能登入后

台，进行查看和控制相应的设备，图 4.7 为登陆界面，当不是管理员登陆时会提示无效的登录信息如图 4.8。

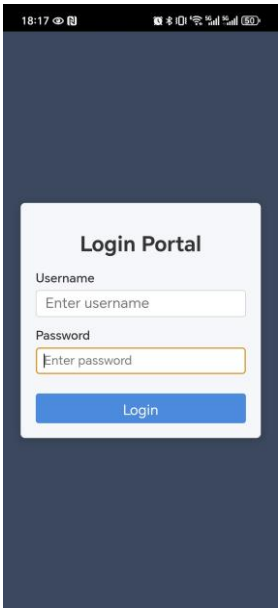


图 4.7 登陆界面

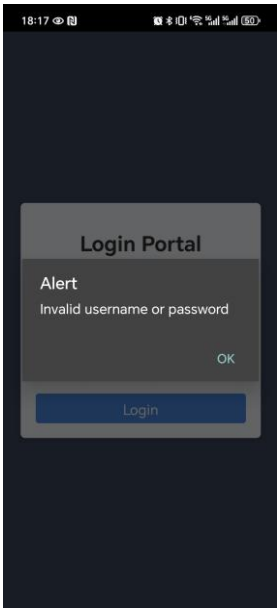


图 4.8 非管理员登陆

实验经过多次测试，结果均表明只有对应的管理人员才有权限能进入后台管理系统，这对于身处矿井这样高危环境的矿工的安全有极大的保障，提高了整个矿工管理系统的安全性。当管理员进入管理后台之后就可以进入到监控界面和控制界面。

4.5.2 监控功能

监控界面主要展示了环境参数和地理位置信息，具体就是温度、湿度、烟雾值、照明状态。此界面的数值均由安全帽终端实时上传，示意图如图 4.9 和图 4.10。



图 4.9 设备端环境参数值



图 4.10 APP 接收到的环境参数值

经过长时间观察对比，远程管理平台上的环境值均是由安全帽设备端实时上传的，且上传延时在 2 秒左右，数据的实时性较好。这在矿井这样危险环境下有着重大的作用，通过此监视界面，后台管理员能够实时的监测到矿工的工作环境状态，能大大提升整个矿井的安全性，及时规避可能的风险。

4.5.3 控制功能

控制界面主要是为后台管理人员用来控制设备、配置参数和发布预警通知使用，此功能能够在矿井作业的环境下为管理人员提供极大的便利。主要有照明控制开关，温湿度阈值设置两个功能。

1) 照明控制

图 4.11 为未按下按键时，此时可以看到设备上传上来的 LED 是为关闭状态。图 4.12 为点击控制按键之后，设备端接收到数据，为控制器进行处理，执行完照明开启操作之后，设备回传给 APP 的最新的 LED 状态，可以看到此时为开启状态。



图 4.11 默认状态未开启



图 4.12 照明开启命令执行成功

2) 阈值设置

管理员可以在阈值设置界面设置各个环境参数的报警阈值，此功能可以保障在不同的矿井或者不同的条件下，设置不同的危险划分点，方便动态的管理整个矿井的安全，下面以温度为例进行介绍，此时环境温度为 31 度。

在控制界面，设置温度阈值为 10 度，安全帽终端上接收到消息之后，立马修改内部的报警逻辑，由于实际温度是 31 度，大于温度阈值 10 度，会立马触发报警逻辑，设备上的蜂鸣器立马响起，并上传报警消息，大约 1 秒延迟之后，触发 APP 报警动画效果，管理员由此可以看到报警提示,效果见图 4.13 和图 4.14。



图 4.13 设置温度阈值为 10 度



图 4.14 APP 触发报警动画

实验进行多次阈值设置测试，测试结果表明远程管理平台能够精准的修改设备端的阈值数据，并且与设备回传的修改后的实时的阈值是一致的。这表明系统控制中的阈值设置功能具有很高的准确性和效率。这对系统面对矿井这样复杂多变的环境提供很强的灵活性，支持动态的设置阈值来实现不同环境下的不同监测逻辑，大大提高了矿井作业的安全，也极大的方便矿井后台管理员进行高效的监控。

第 5 章 总结与展望

5.1 主要工作与创新点

这个项目的的主要工作是实现了一个多功能智能安全帽系统，它将 GPS 定位、温湿度和烟雾监测、LED 照明、语音对讲和远程管理平台这五大方面的功能都给集成到了一起。主要的工作内容可以总结为以下几个方面。

- (1) 在硬件的构成上，我整合了 STM32、NEO-6M、DHT11、MQ-2、ESP8266、语音对讲模组和 OLED 整合成一个紧凑系统与此同时，通过借助 Altium Designer，去进行了 PCB 布线并集成到一块电路板上去的工作，如此一来便去实现了整个控制系统的硬件集成。
- (2) 嵌入式固件方面，是基于 STM32 主控去编写了各类传感器驱动、数据处理和 WIFI 通信部分这些代码；并且设计了像是定时器中断、串口收发、数据采集、自动报警等这些方面的逻辑功能。如此一来便让硬件设备端整体的功能得以实现，成功将硬件设备进行驱动，完成了对应的固件开发。
- (3) 在远程管理平台的开发上，是选用了 Apache Cordova 这个开源框架，并基于 HTML5、CSS、JavaScript 技术去开发了一款矿工安全帽系统对应的后台管理安卓 APP。实现了管理员的认证登陆界面、环境数据监测、设备控制和状态日志记录这四大核心功能。
- (4) 系统测试与验证：我对传感器数据的采集、GPS 定位、MQTT 通信以及 APP 各项功能进行了全面的测试和验证，确保了系统的稳定与可靠，保证了多功能安全帽能够在矿下环境稳定而长久的运行。

该多功能智能安全帽系统创新点有如下四个。

- (1) 通过编写各类传感器的驱动，使用了简易的滤波算法对环境监测数据进行初步处理，使得采集的数据更加的准确，并且通过 esp8266 将终端设备和远程管理平台联系起来，实现终端数据的上传于远程平台命令的下发。
- (2) 基于 Cordova 框架，以 HTML、CSS、JavaScript 的开发了跨平台的 APP，将实时数据监测、远程控制和参数配置同一平台，操作直观、一键切换，满足矿井安全管理需求。

- (3) 利用 Altium Designer 对整个系统的硬件进行了圆形布局的设计，贴合安全帽的外观，占用空间极小，使用便捷，同时利于后期管理维护。
- (4) 系统集成度高，成本非常低，且功能十分完善，利于使用。

5.2 后续研究工作展望

此矿工安全帽系统还有不少提升空间。在后续的研究中，我觉得有很多进步的地方。硬件上，可以把电路做的更小，换更具性价比的芯片和传感器，减小体积，使得矿工人员佩戴轻便、舒服，也让成本降得更低。电源考虑加上锂电池和充电管理，以实现续航的增加，并且使用更先进的算法和资源优化来实现低功耗。定位方面，矿下 GPS 信号差，考虑使用 UWB 或 RFID 等技术，解决矿井内精确定位问题，以确保人员的绝对安全。传感器可以再加 CO 和 CH₄ 检测等更多有害气体传感器，使得环境监测参数更加的全面，更大程度上提升系统的可靠性，并且优化报警控制逻辑，添加异常检测算法，对环境数据进行更加高效的分析，防止误报和漏报，进而提升预警的准确性。

软件上，考虑给远程管理平台添加更多的功能，比如实时视频和风险预测。语音通信的质量还可以提升。并且最重要一点是系统的安全性可以进一步提升，考虑使用加密算法对管理链路进行加密，使得通信信道的安全。并且集成现今的 AI 大模型分析历史数据，预测风险，防患问题于未然。

从更加长远的视角来看，我希望这套系统不只用在煤矿，也希望它在建筑工地、隧道施工这些高危场景也能够派上用场，将它的低成本、高效率、高安全性等特点发挥出来。总之，在矿井的基础应用只是个起点，未来还有很多提升可以实现。

参考文献

- [1] 白晓轩,冯锋.基于 UWB 技术的矿井人员安全保障系统研究[J]. 物联网技术, 2025(3): 1-4.
- [2] 汤一平,冯凌颖,涂冉,等.基于 WLAN 的全景视觉煤矿安全监控系统[J].计算机测量与控制,2012,20(02):363-366.
- [3] 陈振安.国外煤矿安全管理体系的启示[J].科技创新导报,2010,7(31):66-66.
- [4] 丁一,李玉丽.面向煤矿安全的智能安全帽设计与应用[J].电脑与电信,2025(1):65-69.
- [5] 程磊,张俊展,景国勋,等.基于 YOLOv8 的煤矿安全帽和安全背心检测算法[J].中国安全生产科学技术,2025,21(02):115-121.
- [6] 吕玉寒.基于 GNSS/UWB 融合 IMU 的矿井无人驾驶车辆精准无缝定位方法研究[D].中国矿业大学,2024.
- [7] 徐如意.高精度导航与定位技术在矿山工程测绘中的应用研究[J].世界有色金属, 2024,(17):142-144.
- [8] 王凯,鲍久圣,吕玉寒,等.基于 ESKF 与改进 IMM 算法的煤矿无人驾驶车辆井上-井下无缝定位[J/OL].煤炭学报,2024,1-16.
- [9] 何晓晗.UWB 技术人员定位系统在煤矿中的应用[J].江西煤炭科技,2025,(01):171-173.
- [10] 裴子航.基于 RFID 的室内定位技术方法研究[D].杭州电子科技大学,2024.
- [11] 张庆庆.基于嵌入式技术的矿用温湿度监测系统设计与应用[J].自动化与仪器仪表,2017,(02):36-38.
- [12] 袁铭浩,耿民,徐龙.煤矿井下有害气体安全监控系统的设计及测试性研究[J].山东煤炭科技,2025,43(01):153-157.
- [13] 朱洪圉.数字对讲机射频电路的研究与设计[J].通讯世界,2015,21(7):137-137.
- [14] 曹田兵.有线无线一体化通信系统在煤矿的应用[J].工矿自动化,2012,38(04):67-70.
- [15] 李芸,商鹏程,李彦坤,等.基于 IoT NTN 实现卫星语音通信的关键技术研究[J].通信世界,2024,(08):14-15.

- [16]黄利城.VSAT 卫星通信系统在数据和语音通信中的应用[J].电子元器件与信息
技术,2024,8(11):210-212.
- [17]王磊.浅谈 4G 无线通信技术在煤矿生产中的应用[J].煤,2019,28(8):106-108.
- [18]刘旭东,梅海兵.4G 技术在煤矿无线通信系统中的应用探析[J].数字通信世界,
2024(8):163-165.
- [19]王军,顾义东,曾苛.WiFi 通信技术在煤矿信息化中的应用分析[J].工矿自动化,
2017,43(7):90-93.
- [20]霍振龙.LoRa 技术在矿井无线通信中的应用分析[J].工矿自动化,2017,43(10):34-
37.
- [21]蓝升传,陶干强,房智恒,曾庆田,王史文,朱忠华.基于 LoRa 和物联网技术的矿井
环境监测系统设计[J].黄金科学技术,2023,31(1):144-152.
- [22]肖敏.基于 Apache Cordova 的跨平台智能家居终端应用研发[D].华南理工大学,
2015.
- [23]梅昭容,刘杰.基于 Cordova 模式的移动 GIS 开发关键技术研究[J].无线互联科技,
2022,19(12):128-132.

致谢

在此，我要感谢我的导师孟振亚老师。他在整个毕业设计的过程中，给予了我许多方面的指导帮助。从最初课题的选取阶段，到后面方案设计的环节，再进一步到系统调试的具体问题，以及最终论文的撰写工作，孟老师总是细心的指导我，每当我遇到问题，向他寻求帮助的时候，他总是不厌其烦地解答我的问题，在此深深的感谢孟老师。

与此同时，我也要向那些曾经与我一同努力奋斗过的同学们表达感谢。感谢你们为我提供了很多硬件上面的支持，没有你们的支持我将会遇到很多的困难，感谢你们在我遇到问题的时候愿意与我沟通交流，协助我解决各式各样问题，正是你们的帮助才让我的项目取得了预期的效果。

最后感谢我在完成整个毕业设计过程中参考的各类文章的各位专家，你们的文章给了我很多启迪和思考，让我收获颇丰。

附录 A 源代码

```
#include "main.h"

volatile u8 alarmFlag = 0;
volatile u8 alarm_is_free = 10;
u8 temperatureH, temperatureL, humidityH, humidityL;
float smoke_ppm;
extern nmea_msg gpsx;
// Sensor threshold settings
volatile u8 temperatureThreshold = 30;
volatile u8 humidityThreshold = 80;
volatile float smokeThreshold = 2000.0f;

int main(void)
{
    unsigned short tick = 0;
    unsigned char *rxData = NULL;

    HW_Init(); // Initialize hardware
    Net_Init(); // Initialize network
    TIM2_Int_Init(4999, 7199);
    TIM3_Int_Init(2499, 7199);
    BEEP = 0;
    delay_ms(250);
    BEEP = 1;

    // Main loop
    while (1)
    {
        if (tick % 40 == 0)
```

```
{
    Sensor_Process();
}
Comm_Handler(&tick);
rxData = ESP8266_GetIPD(3);
if (rxData != NULL)
{
    OneNet_RevPro(rxData);
}
delay_ms(10);
}
}

// Hardware initialization
void HW_Init(void)
{
    Usart1_Init(115200);
    delay_init();
    OLED_Init();
    NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_0);
    LED_Init();
    KEY_Init();
    DHT11_Init();
    BH1750_Init();
    ADCx_Init();
    Usart2_Init(115200);
    ESP8266_Init();
    GPIO_Config_Init();
    USART_Config_Init();
    NVIC_Configuration();
}

// Sensor data processing
```

```

void Sensor_Process(void)
{
    static float RS, R0 = 6.64f; // Reference resistance for MQ2 sensor
    static uint16_t smoke_adc_value;
    static float smoke_vol;
    GpsDataRead(); // Update GPS data
    DHT11_Read_Data(&humidityH,          &humidityL,          &temperatureH,
&temperatureL);

    // Read smoke sensor data
    smoke_adc_value = Get_ADC_Value(ADC_Channel_1, 100);
    smoke_vol = (float)smoke_adc_value * (3.3f / 4096.0f);
    RS = (5.0f - smoke_vol) / smoke_vol * 0.5f;
    smoke_ppm = powf(11.5428f * R0 / RS, 0.6549f) * 100.0f;

    // Alarm logic
    if (10 == alarm_is_free)
    {
        alarmFlag = ((humidityH >= humidityThreshold) || (temperatureH >=
temperatureThreshold) || (smoke_ppm >= smokeThreshold));
    }
    if (alarm_is_free < 10)
    {
        alarm_is_free++;
    }
}

// Communication handler (publish data)
void Comm_Handler(unsigned short *tick)
{
    if (++(*tick) >= 119)
    {
        char PUB_BUF[256];
    }
}

```

```
float lon = gpsx.longitude / 100000.0f;
float lat = gpsx.latitude / 100000.0f;

sprintf(PUB_BUF,
    "{"
        "\"temperature\":%d.%d,"
        "\"humidity\":%d.%d,"
        "\"smoke\":%.2f,"
        "\"latitude\":%.5f,"
        "\"latitudeHem\": \"%c\","
        "\"longitude\":%.5f,"
        "\"longitudeHem\": \"%c\","
        "\"light\": \"%s\","
        "\"danger\": %s,"
        "\"temperatureThreshold\":%d,"
        "\"humidityThreshold\":%d,"
        "\"smokeThreshold\":%.2f"
    "}",
    temperatureH, temperatureL,
    humidityH, humidityL,
    smoke_ppm,
    lat, gpsx.nshemi,
    lon, gpsx.ewhemi,
    (GPIO_ReadInputDataBit(GPIOA, GPIO_Pin_4) == 1) ? "on" : "off",
    (alarmFlag == 1) ? "true" : "false",
    temperatureThreshold, humidityThreshold, smokeThreshold
);

OneNet_Publish(devPubTopic, PUB_BUF);
*tick = 0;
ESP8266_Clear();
}
}
```

附录 B 原理图

