



河海大学

《物联网工程规划与设计》课程报告

智能安全帽系统（矿井）

学年学期	<u>2019-2020 学年第二学期</u>
授课班号	<u>6241014-01 (6241014-02)</u>
组员	<u>1762410319 鲁阳星</u>
	<u>1762910211 黄家名</u>
	<u>1763310318 刘淑薇</u>

分工表

内容	负责人
摘要、一、二、5.1、5.3.3	黄家名
三、5.2	刘淑薇
四、5.3.1、5.3.2、5.4	鲁阳星

摘要 目前矿井环境及其恶劣，安全事故频发。然而矿工主要使用的安全帽只具备防护和照明功能，无法对由于其他外部或内部因素导致的安全威胁进行有效的预防和处理。故基于以上现状，本项目设计了一套以“矿井生产”为背景的智能安全帽全生态系统，以期解决当前行业的痛点。本项目将先从可行性研究、需求分析等方面分析，确定本项目的具体实施方案与功能实现，然后提出本项目的总体设计与分层的详细设计，最后是模拟对项目进行测试。

目录

- 一 项目概述 ----- 5
 - 1.1 编写目的 ----- 5
 - 1.2 项目背景 ----- 5
 - 1.3 定义 ----- 6
- 二 项目可行性研究 ----- 7
 - 2.1 可行性研究的前提 ----- 7
 - 2.1.1 要求与目标 ----- 7
 - 2.1.2 条件与限制 ----- 7
 - 2.1.3 评价尺度 ----- 7
 - 2.2 现有系统分析 ----- 8
 - 2.2.1 系统现有资源分析 ----- 8
 - 2.2.2 局限性 ----- 8
 - 2.3 技术可行性分析 ----- 9
 - 2.3.1 系统说明 ----- 9
 - 2.3.2 系统优越性 ----- 9
 - 2.3.3 技术可行性分析 ----- 9
 - 2.4 社会可行性分析 ----- 9
 - 2.5 经济可行性分析 ----- 10
- 三 项目需求分析 ----- 11
 - 3.1 业务需求 ----- 11
 - 3.1.1 主要业务 ----- 11
 - 3.1.2 未来增长预测 ----- 13
 - 3.2 用户需求 ----- 13
 - 3.3 功能需求 ----- 14
 - 3.4 数据需求 ----- 16
 - 3.5 其他需求 ----- 17
 - 3.5.1 安全性 ----- 17
 - 3.5.2 可靠性和可用性 ----- 17
 - 3.5.3 可伸缩性和可扩展性 ----- 17
 - 3.5.4 实时性 ----- 17
 - 3.5.5 易用性和界面需求 ----- 18

四 项目总体设计	19
4.1 系统技术架构	19
4.2.1 设备	20
4.2.2 云服务	20
4.2.3 展示层	21
4.2.4 交互过程	21
五 项目详细设计	23
5.1 感知层设计	23
5.1.1 智能安全帽设计	23
5.1.1.1 总体设计	23
5.1.1.2 元件选型	24
5.1.1.3 软件设计流程图	29
5.1.1.4 成本造价	29
5.1.2 环境传感盒设计	30
5.1.2.1 总体设计	30
5.1.2.2 元件选型	31
5.1.2.3 软件设计流程图	33
5.1.2.4 成本造价	34
5.2 网络层设计	35
5.2.1 网络层总体架构	35
5.2.2 网络设备的功能及选型	36
5.2.3 网络层的通信协议	40
5.2.4 网络层通信数据帧格式	41
5.3 应用层设计	43
5.3.1 数据库设计	43
5.3.2 服务器设计	44
5.3.3 应用界面设计	45
5.3.3.1 网页	45
5.3.3.2 微信小程序	46
5.3.3.3 大屏展示	47
5.4 安全设计	48
5.4.1 设备防爆安全	48
5.4.2 服务器与数据安全	48
5.4.3 定位服务的高可用性	48
5.4.4 矿灯的独立设计	48

一 项目概述

1.1 编写目的

编写此文档的目的是详细智能安全帽开发的一系列细节问题，希望能使本应用的开发工作更为具体。为了使智能安全帽的使用者、后台监管平台用户、软件开发者及分析和测试人员对该系统的初始规定有一个共同的理解，特编写此系统设计报告以说明本系统的项目概述，阐述实用背景及范围，提出具体的可行性分析以及系统所需的各项功能需求、性能需求和数据需求，明确标识各项功能的具体含义，提供客户解决问题或达到目标所需要的条件或权能，提供一个度量和遵循的基准。

具体而言，编写项目详细设计报告的目的是为所开发的系统提出：

- 1) 软件设计总体要求，作为系统设计人员、开发人员以及相关测试人员相互了解的基础。
- 2) 功能、性能要求，数据结构和采集要求，重要的接口要求，作为系统设计人员进行详细设计的依据。
- 3) 系统确认测试的依据。

1.2 项目背景

众所周知，矿山远离闹市，地形复杂，导致开采环境复杂多变，有很多不可控因素，因而属于事故多发区。目前，矿井工人主要使用的安全帽只具备防护和照明功能，不仅管理人员难以对矿工进行管理，而且对于施工地段的环境情况无法预知，因而经常会发生一些事故，例如因为矿井内湿度过高引发的塌方，对矿工的生命安全构成了威胁。所以从事煤矿开采者的人身安全问题亟待解决，主要有人员管理和环境安全两方面。与此同时，物联网迅速发展，技术日益成熟，为以矿井生产为背景的智能安全帽系统的开发提供了可能。

基于以上项目应用背景和技术发展背景，我们专门设计了以“矿井作业”为

应用背景的整套智能安全帽生态系统——智能“小黄”。智能安全帽是基于安卓 6.0，通过 WiFi、4G 进行通信，同时设计部署感知矿井环境信息的感知系统，全方位切实保障矿工的安全。本安全帽系统支持人员定位、打卡考勤、语音通话、视频直播推流、一键呼救、生命体征检测、自动报警、环境感知等功能。

1.3 定义

“智能小黄”在本文档中表示为我们设计的“智能安全帽系统”的简称。

二 项目可行性研究

2.1 可行性研究的前提

2.1.1 要求与目标

智能小黄旨在改善矿井生产存在的一系列安全隐患，将众多功能集中于普通的安全帽，实现人员定位、上班打卡、语音通话、视频直播推流、一键呼救、生命体征检测、自动报警等功能，同时在设计时还需要保证整个系统的性能稳定与信息安全。本系统要求在两个月内完成设计，设计出来的系统也可应用于各个相关的应用场景，并可能对其他系统具有一定的启发作用。

智能小黄的设计与生产的目标主要是切实保障矿井工人的生命安全，降低人身财产的损失，同时通过更高效的人员管理和决策管理，提高整个应用场景的工作效率，带动经济更好更快发展。

2.1.2 条件与限制

矿井下的环境是十分恶劣的，也是整个系统设计与生产的条件与限制。因为是矿井环境，我们设计的所有设备都是要注意防爆保证安全。由于 4G 信号无法覆盖矿井，需要在矿下重新建立网络，才能实现正常的网络通信，同时 GPS 也无法覆盖井下环境，需要设计室内定位技术。本系统的经费较为充足，但务必保证系统的正常和安全的使用。

2.1.3 评价尺度

智能小黄的评价尺度主要包括整套系统的各个层次所需的成本费用，系统的各项功能的优先次序，系统开发时间的长短以及系统在使用时的难易程度等。

2.2 现有系统分析

2.2.1 系统现有资源分析

经过我们对矿井以下环境的深入调研，我们对需要设计与开发的矿井环境做了如图 2.1 所示的情景模拟。现有的矿井为了进行网络通信，已经不同程度地建立好电力系统和基础网络结构，为我们的设计与开发提供了网络层的基础。由于煤矿公司都很富裕，并没有费用的限制，人力资源也相对丰富。

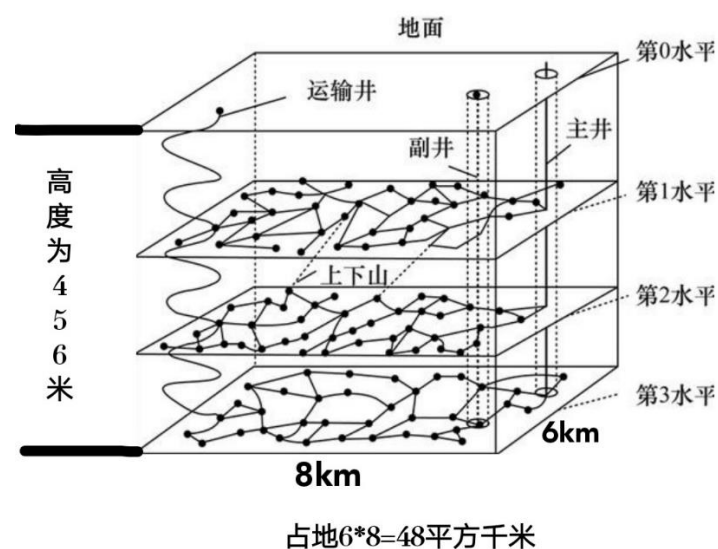


图 2.1 矿井环境模拟图

2.2.2 局限性

- 1) 矿井下 4G 信号无法覆盖，需要重新部署其他网络。而如果架设 WiFi 网络，众所周知，WiFi 的传输范围相对较小，需要布置较多的基站，另外 WiFi 能耗较大，能源的消耗是很大的问题。
- 2) 矿井下 GPS 也很难覆盖到，需要重新部署新的定位系统，而如果使用传输较远距离的微波 RFID 将会与 WiFi 撞频；如果选用超宽带技术，费用可能会非常高。所以选择合适的定位技术、较远的传输距离与精准的定位效果是亟待解决的问题。
- 3) 由于进入矿井不可以携带电子设备，所以我们开发的智能安全帽务必保证绝对的安全，而且要尽可能的减轻安全帽重量，为矿工提供更舒适的服务。

2.3 技术可行性分析

2.3.1 系统说明

我们系统的概要设计是感知层包括环境感知盒、智能安全帽和 RFID 标签，其中采用超高频的 RFID，主要用来实现定位和打卡双重作用，向上通过网络传输层的 4G、WiFi、RFID 等技术与百度云平台进行数据的通信。百度云平台主要涉及对象存储、IoT Hub、音视频 PaaS 级平台以及时序与 MySQL 数据库等，实现业务层音视频连线、员工管理、工况管理、视频管理和数据分析等功能，最后通过展示层的数据可视化平台、网页和微信小程序展示。云平台层与业务层有相应的日志记录，包括展示层在内的三层也有相应的权限控制。

2.3.2 系统优越性

智能小黄具有对比于当前矿井安全帽显著优越的特点，它支持随时随地智能通信、众多传感器全方位保障矿工生命安全，同时还具有对比于其他智能安全帽系统的优越性，智能小黄是集感知环境、搭建通信网络和后台数据管理为一身的全生态系统。

2.3.3 技术可行性分析

根据 2.2.2 部分的局限性分析，我们认为利用现有的技术和资源条件可以使系统达到预定的目标，我们的团队总共有三个人，专业水平与工作质量十分优秀，完全可以满足此次设计开发的要求，团队成员合理分工，将会在规定的两个月期限内完成开发。

根据以上的分析，总体来说本系统符合技术的要求，故此系统是具有技术可行性的。

2.4 社会可行性分析

1) 我们的智能小黄遵守法律法规，设计与开发全部原创，不存在任何违法或侵

权的问题。

- 2) 采用矿井工作人员直接使用智能安全帽，管理人员后端管理矿工这样的运行方式，在煤矿公司内执行，是可行的。
- 3) 据调研，煤矿公司现有管理制度还存在漏洞、人员素质也参差不齐、需要进行制度完善与工作人员培训，保证我们的设计生产与后续的具体操作可行。
- 4) 矿井环境较为恶劣，务必保证我们团队在设计与生产的过程中不对社会产生任何的安全威胁。

根据以上的分析，总体来说本系统符合社会的要求，故此系统是具有社会可行性的。

2.5 经济可行性分析

智能小黄的开发成本大约包括智能安全帽的零件与手工费，环境传感盒的零件与手工费，网络设备的购买与搭建费用，云平台租用费用，后台管理应用的维护费用和团队的运行费用及工作人员的工资发放。

智能小黄的效益收入大约包括智能安全帽售价与成本的差值，环境传感盒售价与成本的差值和后台数据管理的管理费用。

根据以上成本与效益的分析，智能安全帽与环境传感盒售出的数量越多，我们将会得到更多的收益，云平台的费用根据矿井的具体规模按需收费，我们也会从中获取一定的管理收益，以维持整个团队的正常运转。使用本系统之后的几年，我们主要通过收取云平台费用以及数据的管理费用作为主要的收益。总体来说本系统的效益是大于成本的，故此系统是经济上可行。

三 项目需求分析

在本小组前期对智能安全帽的调查和组内成员全面深入地探讨分析的基础上，本需求分析对业务需求、用户需求、功能需求、数据需求、其他需求等需求进行分析，明确本智能安全帽项目的目标、功能、性能等，使项目研发人员能清楚地了解用户的需求，并在此基础上进一步完成后续的设计和开发工作。

3.1 业务需求

对于煤矿企业，只有保证了矿井内人员的作业环境安全、生命安全，才能够最大程度上地创造利益。当前对矿内人员的安全构成威胁的主要有两个方面：一方面是人员管理，当前目前很多煤矿企业没有完整的安全管理制度，没有将具体的安全管理工作落实到每个人。同时，即使有的煤矿企业有完整的安全管理制度，但是存在不够智能的现象。而且很多矿工和矿内工作人员安全意识薄弱，会导致许多安全问题；另一方面是环境监测，目前对矿内人员最大的安全威胁是矿内环境，瓦斯仍是煤矿安全的“第一杀手”。所以对矿内的环境进行安全检测是保证矿内人员的人身安全的关键。

本智能安全帽项目是基于全方面保障矿内人员安全的目的，同时实现更高效的实现地面监控矿内作业、解决人工打卡、人工监工等人力投入成本等问题。

3.1.1 主要业务

本智能安全帽项目从人员管理和环境监测两个方面来保障矿内人员安全。其中，人员管理方面流程图如图 3.1 所示，环境监测方面流程图如图 3.1 所示。

每个矿工佩戴一个安全帽，每个安全帽能唯一标识一个矿工。图 3.1 中，矿内人员进入矿内，智能安全帽便实现智能打卡，省去以往人工打卡的繁杂。当矿工在矿内作业时，实时定位，确定每个矿工当前所处区域，一旦进入矿内的危险区域，智能安全帽便直接报警提醒矿工，直到矿工离开危险区域。同时，该智能安全帽需要实时监测矿工的体征，当矿工身体出现异样，可以实现在有效时间内对矿工进行救治等，保证矿工的生命安全。其中当矿工身体出现异样时，有自动

求助和被动求助两种方式，自动求助即矿工可以通过一键求助、语音通话等方式与地面取得联系；被动求助就是地面控制端自动监测矿工的生命体征，当监测到生命体征异样，则立马采取与该矿工语音联系、或与该矿工处于相同区域的其他矿工联系等方式对矿工的身体状况进行确认。

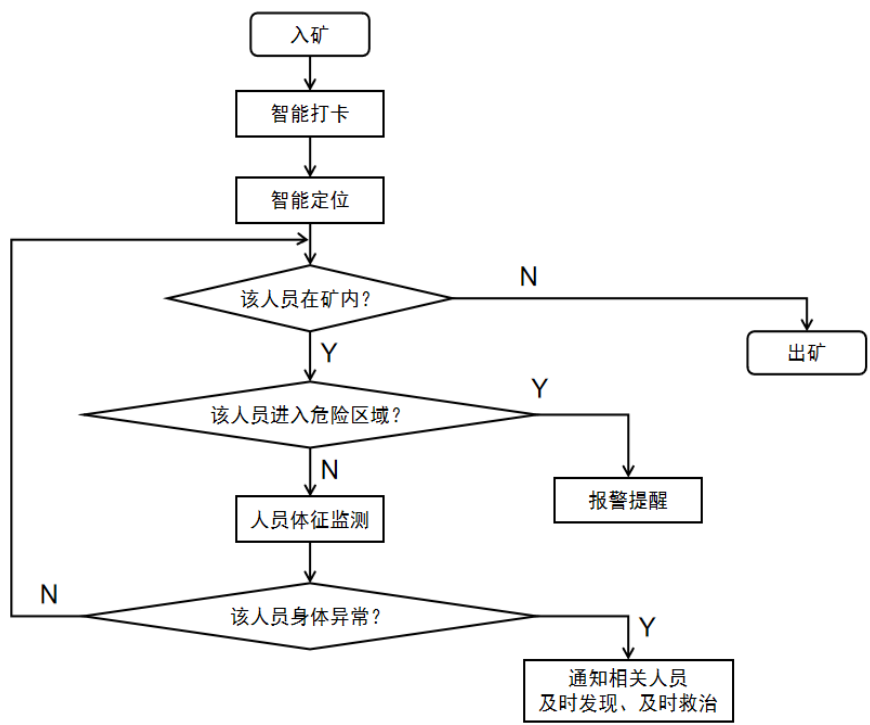


图 3.1 人员管理流程图

矿井内环境复杂，且极易产生爆炸事故，对环境监测是保障矿内人员安全的关键。如图 3.1 所示，本智能安全帽项目对矿井中的环境实时采集，并将采集到的信息上传，并对信息进行处理分析，当遇到异常信息时，调度中心的工作人员进行及时的排除处理，若情况严重，要及时安排矿内人员出矿。其中，对矿内环境信息采集主要包含两方面的信息，一方面是矿内的气体、温湿度等环境感知信息，另一方面是矿内的作业环境的现场视频信息。

按照不同的采矿环境、不同矿工工种，本智能安全帽项目将智能安全帽分为三种类型：定位型安全帽、语音型安全帽、视频型安全帽。其中定位型安全帽主要适用于矿外作业的工作人员，语音型安全帽主要适用于矿内作业的普通矿工，视频型安全帽主要适用于矿内作业的高级别矿工。煤矿公司可根据其各个工种的人员数量对不同配置的安全帽进行购置，增加了煤矿公司采购此安全帽的多样性，可促进了对本智能安全帽的购买。

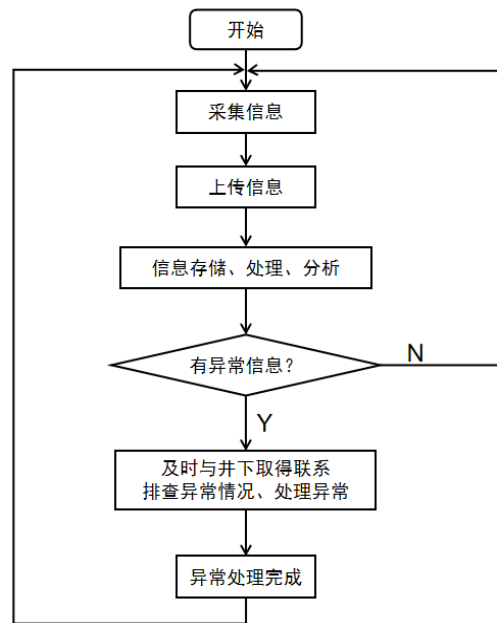


图 3.2 环境监测流程图

3.1.2 未来增长预测

在未来，矿井内部的无线通信系统会越来越完备，使得智能安全帽可以基于矿内完备的无线通信系统而得到广泛应用。同时，在物联网深入发展的前提下，本智能安全帽项目因其集减少人力消耗、智能监控矿内环境、保障矿内人员的生命安全等功能为一体，必将得到广泛的应用。

3.2 用户需求

本智能安全帽项目主要有三种类型的使用者：矿内作业人员、调度中心控制人员、煤矿企业内部所有员工。

对于矿内工作人员来说，安全帽的舒适度对其极为重要，需要佩戴舒适、能透气、能防水的安全帽。且矿内昏暗，需要在智能安全帽上面配备矿灯，保证矿内人员可以在光线充足的情况下作业。同时，因为很多矿内工作人员安全意识薄弱，会存在佩戴安全帽不规范的问题，则智能安全帽需要对佩戴安全帽不规范的矿工进行报警提醒，确保每个安全帽都被矿井人员规范佩戴。在每个矿工下矿之前，要预先获取矿内的气压、温湿度等环境信息，在确认当前矿井环境安全的情况下再下矿。

对于调度中心控制人员来说，需要在控制中心用大屏实时呈现矿井下视频数据、感知数据等，方便控制人员对井下环境进行控制。同时，控制人员需要能及时与井下人员进行通信，得知井下情况，保证矿内人员安全。

对于煤矿企业内部所有员工来说，所有人都可以登录 Web 端获取当前矿井的最新信息。同时，对于不同的员工，登录 Web 端的权限不同，可获取的信息不同，权限越高、获取的信息越多。

3.3 功能需求

根据业务需求和用户需求，可知本智能安全帽项目的功能需求主要有如下几个方面：

1. 智能打卡、工况检测：减少人工点名、人工打卡等人力消耗。
2. 智能定位、安全报警：实时获取矿工在矿内所处地理位置，避免矿工进入矿内危险区域。
3. 一键求助、体征检测：保证实时获知矿工的身体状况、对身体出现问题的矿工可以进行及时的救治。
4. 佩戴安全帽不规范检测：保证矿工可以正确佩戴安全帽。
5. 环境传感盒：实时感知矿井环境信息，对不安全的矿井环境进行报警，保证矿内人员工作于安全的环境中。
6. 视频直播推流：对矿内现场状况进行实时直播，方便调度中心进行有效调度。
7. 本地存储、联网重发：保证网络状况不佳的情况下，当前感知的数据信息不丢失。

基于上述七点的功能需求，本智能安全帽项目将会研发智能安全帽和环境传感盒两个设备来实现上述功能需求。本项目的数据流图的顶层图如图 3.3 所示，两个外部实体——环境传感盒和智能安全帽将环境感知信息、环境视频信息、语音、人员定位等数据信息传送到云平台进行处理，云平台将处理后的数据信息传送到 Web 端、调度中心、微信小程序等终端，在终端用可视化的界面呈现这些数据，便于用户查看。

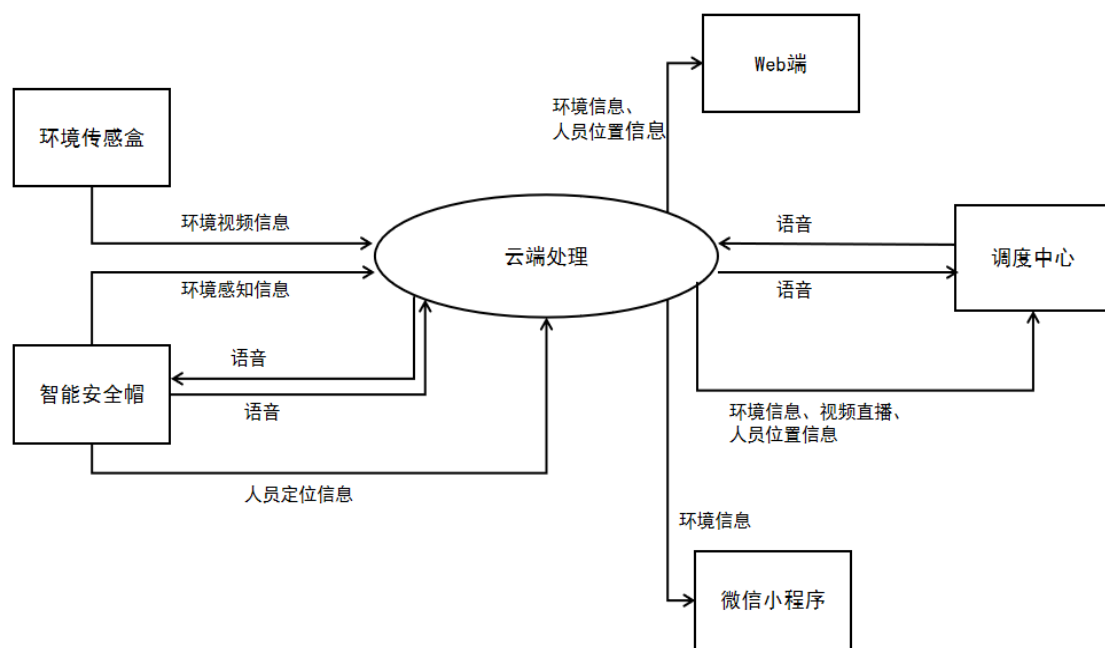


图 3.3 智慧安全帽项目数据流图的总体图（顶层）

将数据流图的总体图进一步分解，得到如图 3.3 所示的主图。环境传感盒会将环境感知数据先送至云端进行环境数据处理，将处理后的数据送至中台处理，并且会将处理后的数据送入云端的环境感知信息库进行存储。智能安全帽存在三路数据信息输出和一路数据信息输入。智能安全帽会将人员定位信息、环境视频信息、语音等信息传入云端，其中人员定位信息会直接发送至中台处理；环境视频信息会经过视频推流器送至中台，同时也会将视频保存在环境视频信息库中，以便煤矿企业内相关人员可以对视频进行回放等；语音传送至语音通话模块，佩戴智能安全帽的矿内作业人员和调度中心的控制人员可以通过语音模块进行通话。中台处理是为了满足在 Web 端、微信小程序端、调度中心等多场景中渗透的需求，中台承接的实际上是跨端、跨系统的整合能力，也体现了数据、业务场景的整合能力。微信小程序可以从中台获取环境信息，Web 端可以从中台获取环境信息和人员位置信息，调度中心可以从中台获取环境信息、人员位置信息、视频直播等。

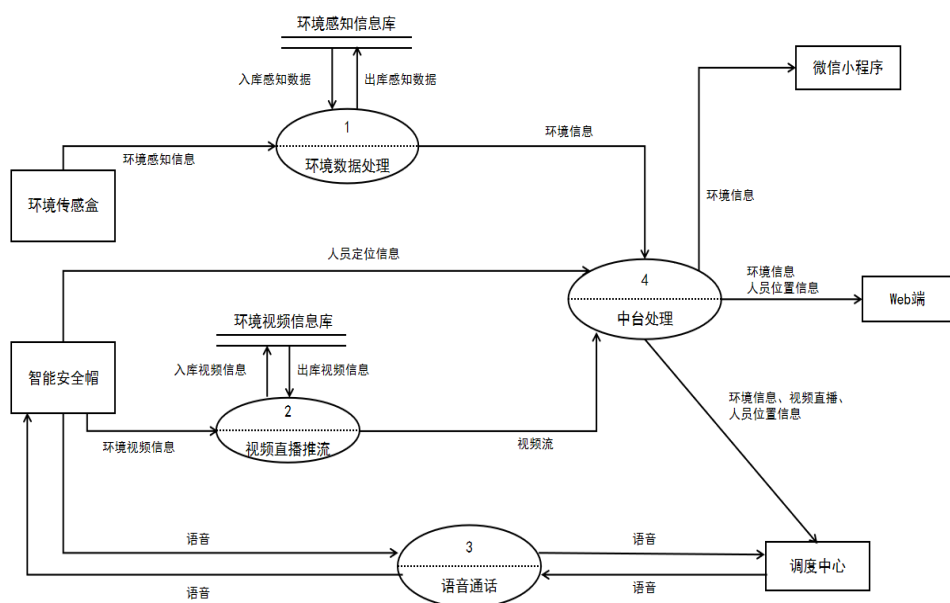


图 3.4 智慧安全帽项目数据流图的主图

3.4 数据需求

表 3.1 数据需求列表

编号	数据名称	数据描述	采集地点	采集周期	数据保存周期	备注
1	气压	测量矿井内气压值	环境传感盒安装处	2min	1 年	
2	气体	测量矿井内甲烷等气体含量	环境传感盒安装处	2min	1 年	
3	温湿度	测量矿井内温湿度	环境传感盒安装处	2min	1 年	
4	现场环境	由摄像头实时记录现场环境	视频型智能安全帽	实时	1 年	
5	定位	利用 RFID 技术实现矿内作业人员定位	读卡分站安装处	经过读卡分站定位一次		

本智能安全帽项目的数据需求列表如表 3.1 所示。表中气压、气体、温湿度等数据是通过环境传感盒中的气压传感器、气体传感器、温湿度传感器等采集到的，每 2min 上传一次数据至云平台。现场环境时通过视频型智能安全帽上的摄像头采集到的，实时上传现场环境。定位是通过智能安全帽上的 RFID 标签和安装在矿井内部各个读卡分站协作实现的。

3.5 其他需求

3.5.1 安全性

本智能安全帽项目的应用环境特殊，矿井中极易产生爆炸等事件。本智能安全帽项目中设备，如智能安全帽、环境传感盒、网络通信设备等都需要具备防爆的功能，保证设备在矿内的使用安全。

同时，在数据采集上传的过程中，需要保障数据的安全，防止数据在传输过程中被窃听或被篡改，若异常数据被篡改为正常数据，则调度中心的控制人员则无法及时采取措施，这对于易爆的矿井环境时极为危险的。对上传的数据进行加密等安全性处理，保证到达处理中心的数据具有可靠性和有效性，保证本智能安全帽项目的安全。

3.5.2 可靠性和可用性

因矿内环境复杂，有可能会产生断网，数据上传失败等现象。需要对上传失败的数据进行存储，保证网络不畅期间的数据不丢失，在网络恢复正常运行时，能够将数据第一时间上传。同时，在网络出现故障时，需要在短时间内快速恢复网络，保证本智能安全帽项目的可用性。

3.5.3 可伸缩性和可扩展性

煤矿企业可以根据其企业下实际矿井中的人员配置对不同类型的智能安全帽进行购置，可以根据具体的矿内环境对环境传感盒的数量进行调整和网络通信设备的安装。对于未来规模可能进行调整的煤矿公司，本智能安全帽项目可以为不同规模大小的矿井规模提供不同的数据存储。保障了本智能安全帽项目的可伸缩性和可扩展性。

3.5.4 实时性

本智能安全帽项目保证了可以实时获取矿井下的数据信息，并且矿内作业人

员可与地面人员进行实时通信，保证矿外人员即使未下矿，也可以掌握矿井内的第一手信息，可以对实时采集到的矿井信息作出最快速的反应。

3.5.5 易用性和界面需求

对于煤矿企业内的所有人员，要获取当前矿井内实时信息，需要有可视化界面。本智能安全帽项目设计了 Web 端和手机微信小程序端，便于矿井人员以各种设备获取矿内信息。

四 项目总体设计

4.1 系统技术架构

智能安全帽系统技术架构分为五层，从下向上分别是感知层、传输层、云平台、业务层、展示层。智能安全帽系统架构图如下：

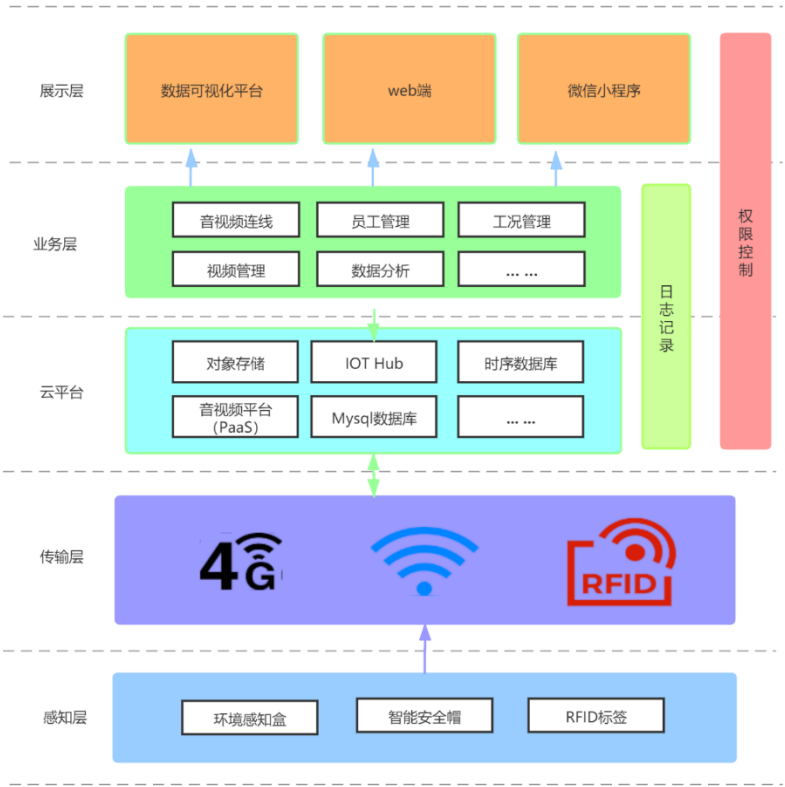


图 4.1 智能安全帽技术架构图

从最底部是感知层来说，包括环境感知盒（感知相关环境参数）、智能安全帽（感知模块）和 RFID 标签（定位与打卡作用）；然后向上通过传输层的 4G、WiFi、RFID 等通信技术与云平台实现通信。云平台主要涉及对象存储、IoT Hub（物联网设备接入管理平台）、音视频平台以及时序数据库与 Mysql 数据库等云服务。业务层则实现音视频对话、员工管理、工况管理、视频管理和数据分析等功能，最后在展示层的数据可视化平台（控制大屏数据展示）、网页端和微信小程序展示与交互。其中数据可视化平台，主要将系统采集分析的数据展示在大屏上，方便管理人员监测矿井状态；网页端则为管理人员提供更为具体的数据分析与音视频对话、管理系统的功能，微信小程序仅供矿井员工进行基础的环境参数获取与打卡情况查询。

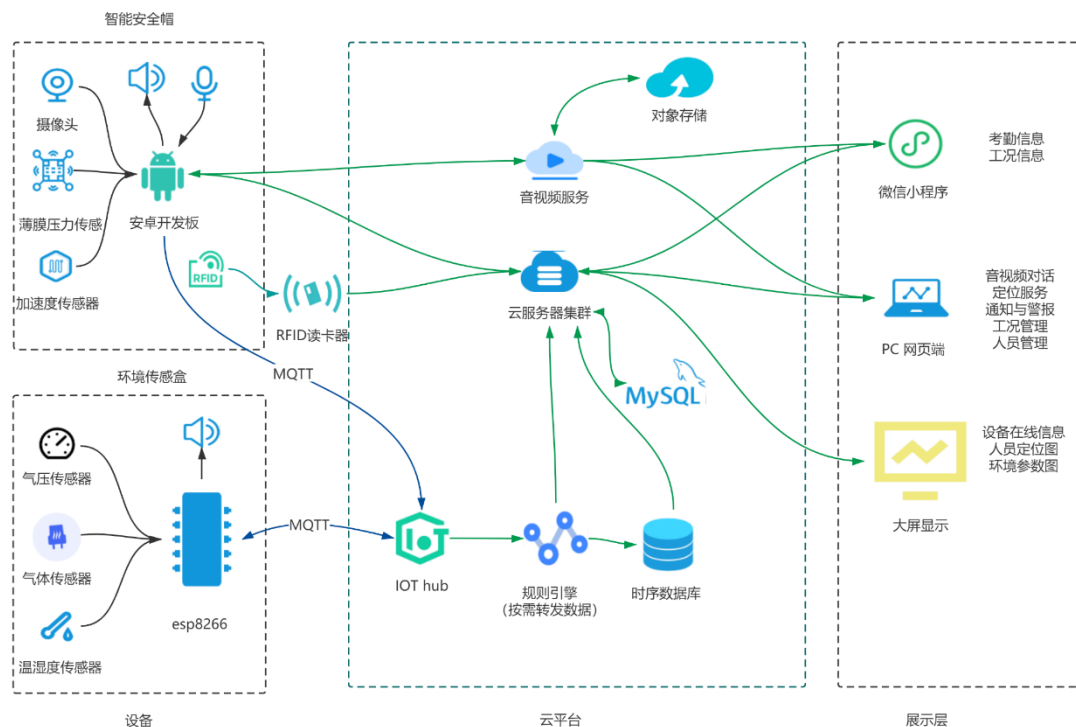


图 4.2 智能安全帽设计架构图

4.2.1 设备

硬件设备包括智能安全帽和环境传感盒，其中智能安全帽是基于安卓开发板，连接了传感器、摄像头、耳机、麦克风等设备为感知体征数据、音视频对话等提供基础支持；同时有一个独立 RFID 标签，通过配套读写器实现打卡与定位等功能。

环境传感盒由 ESP8266 的开发板，气压、气体和温湿度等传感器构成，能够感知环境数据并连接 IOT hub 实现上传数据和控制。

4.2.2 云服务

系统架构中云服务涉及了 IOT Hub、规则引擎、时序数据库、MySQL 数据库、音视频平台、对象存储。下面对其中部分进行简要介绍。

IOT hub：百度云物接入（IoT Hub）是面向物联网领域开发者的全托管云服务，通过主流的物联网协议（如 MQTT）通讯，可以在智能设备与云端之间建立安全的双向连接，快速实现物联网项目。在本系统中用以接入环境传感盒和智能安

全帽。

规则引擎：就是通过灵活的设定规则，将设备传上云端的数据，送往不同的数据目的地（如时序数据库 TSDB、对象存储 BOS 等）以达到不同的业务目标。

时序数据库：（Time Series Database，简称 TSDB）是一种存储和管理时间序列数据的专业化数据库，为时间序列的存储提供高性能读写、低成本存储、强计算能力和多生态支持的多种能力。

音视频平台：以媒资为核心，提供了音视频文件的上传、存储、管理、编辑、转码、AI 处理（审核、理解、去重）、分发、播放等全生命周期的 PaaS 服务。依托百度云强大的实时音视频处理与传输能力、覆盖全球的低延时网络，提供稳定高质量的实时音视频服务，帮助客户快速搭建多平台实时音视频应用。在本系统中用以实现音视频对话和视频回放、管理等。

对象存储：百度对象存储 BOS（Baidu Object Storage）提供稳定、安全、高效以及高扩展存储服务，支持单文件最大 5 TB 的文本、多媒体、二进制等任何类型的数据存储。在本系统主要用以存储视频。

4.2.3 展示层

微信小程序：便携、方便随时随地的使用，为员工提供环境数据、考勤数据的查询。

PC 网页端：功能完善，供管理人员进行系统管理（视频对话、员工管理、工况管理、视频管理等）。

大屏：实时、醒目，供管理人员实时查看关键信息。

4.2.4 交互过程

智能安全帽在进行音视频对话等功能时，智能安全帽会和音视频服务平台进行数据传输，而实现报警、数据上传等功能时和云服务器进行数据传输，同时一个独立安装在帽内的 RFID 标签，同通过读写器实现打卡与定位等功能，并由读卡器的上位机将数据经云服务器存储到时序数据库。

环境传感盒同安卓感知的部分传感数据一样，通过 MQTT 协议与 IoT Hub 通信，通过规则引擎按设定的规则转发到时序数据库或者云服务器。最后通过为微

信小程序、PC 网页端、大屏三种展示与交互的方式，与云服务器、音视频平台相连通，从而读取数据库和对象存储中的数据。

五 项目详细设计

5.1 感知层设计

感知层主要涉及两个部分的详细设计：智能安全帽和环境传感盒。

5.1.1 智能安全帽设计

5.1.1.1 总体设计

煤矿是人类在富含煤炭的矿区开采资源的区域，分为井工煤矿和露天煤矿。根据煤矿的分类不同以及安全帽能到达的最高功能的不同，我们设计出了安全帽的三个版本。

表 5.1 智能安全帽的版本定义

	定位型（露天）	语音型（矿井）	视频型（矿井）
喇叭和警示灯	√	√	√
佩戴不规范警告	√	√	√
体征检测报警	√	√	√
定位打卡	GPS	RFID	RFID
灯光	普通	超闪灯	超闪灯
语音通话	×	√	√
摄像头视频通话	×	×	√

图为视频型安全帽的具体设计图纸，有防水外壳、带有独立电源的矿灯、摄像头、指示灯、麦克风、防水透气孔、开发板、锂电池等等，还有一系列外设和传感器等等，具体如图中位置所示。

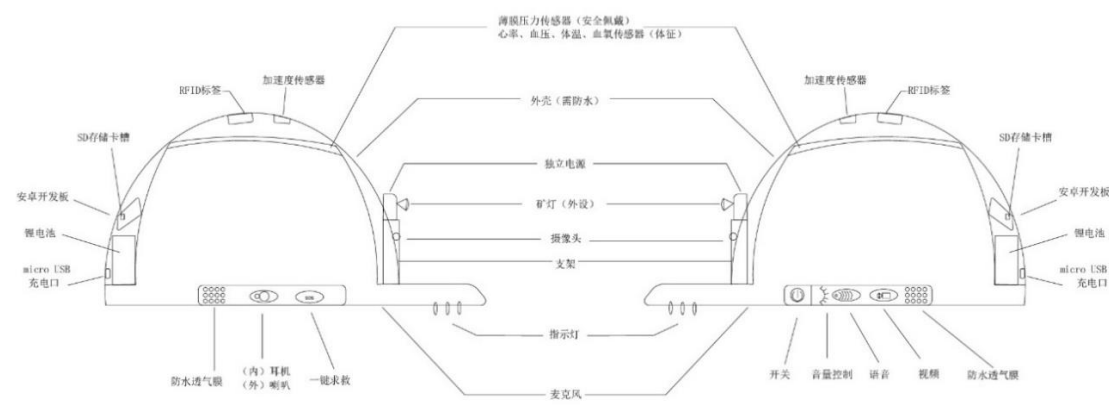


图 5.1 智能安全帽体设计图

图为安全帽帽带的设计，加入了一个接触式开关，当安全帽开机以后，如果帽带没有扣紧，开关处于断开的状态，电路不会导通，蜂鸣器就会报警，从而规范矿工的戴帽行为，保证矿工的人身安全。

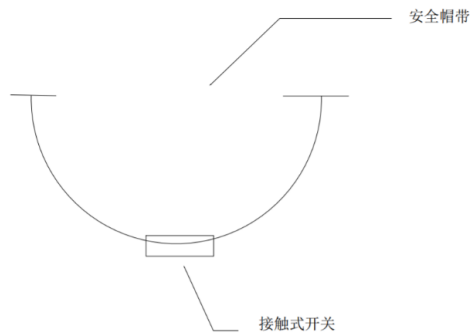


图 5.2 智能安全帽帽带设计图

5.1.1.2 元件选型

1) 全志 A33 四核安卓 6.0 开发板 ¥288

因为本项目需要视频直播推流，查阅百度云 LSS 的相关文档之后，了解到该平台可调用安卓系统相关的 API。在了解了几款安卓开发板后，几乎可以满足本项目的需求，故选择安卓开发板作为智能安全帽的控制中心。我们选用的是全志 A33 四核安卓 6.0 开发板，图和图是这个开发板的具体接口。可以通过更换更好的芯片，得到更高的性能。

图 5.3 全志 A33 安卓开发板

- 1个MicroUSB接口，用于烧程序和调试，有OTG功能
- 4个USB2.0口，2个A母座，2个4P-2.0座
- WIFI+BT 二合一模块 AP6212
- 4组TTL串口，可扩展RS232或RS485
- 1个TF卡座，支持最大64G容量TF卡
- 1个耳机插座
- 1个麦克风插座
- 1个线路输入插座
- 1个板载麦克风
- 1个3W喇叭接口
- 1个CSI摄像头接口
- 1个LCD接口，兼容RGB/LVDS，带电容触摸接口
- 1个MIPI屏接口，用于接5寸、7寸、10寸等MIPI屏
- 1组SPI接口
- 1个可编程LED
- 4个GPIO接口，其中1个可做PWM，3个可做中断
- 5个按键：power reset vol+ vol- home
- RTC电池座CR1220
- 锂电池接口，支持3.7~4.2V电池
- DC4.0电源座，5V电源输入

图 5.4 开发板的具体接口

图 5.3 全志 A33 安卓开发板

图 5.4 开发板的具体接口

2) 安全帽本体选择

选择加厚 ABS 安全帽和干簧管开关。现在市场中主要的安全帽使用材质为 ABS 和玻璃钢，两种材质不存在哪个好哪个坏的问题，两种性能都不错，只是使用场合环境不同。ABS 安全帽不耐燃烧、不耐低温，因此在低温和有燃烧危险的环境下使用较弱些，但其韧性好耐冲击，因此适用于采矿等冲击强度高、常温作业的场所。干簧管主要是用于缝制在帽带上作为接触开关，保障矿工的戴帽规范。

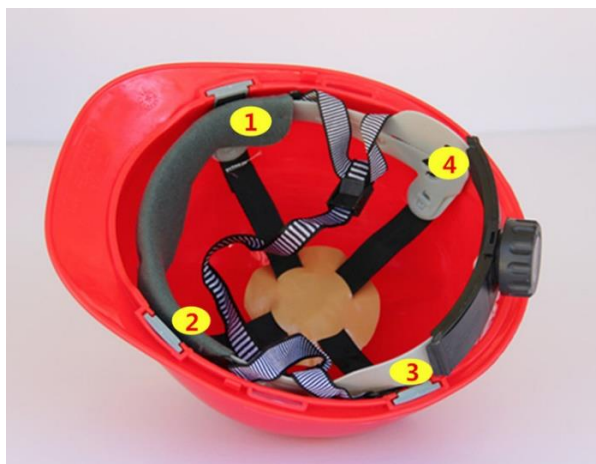


图 5.5 防水 ABS 安全帽



图 5.6 干簧管开关

3) 传感器选择

PVDF 压电薄膜是主要检测心率呼吸的生命体征传感器。但由于该传感器的电荷输出能量是很小的，就算电压再高也是没有能量的，普通方式难以正确采集。所以搭配了电荷放大模块。

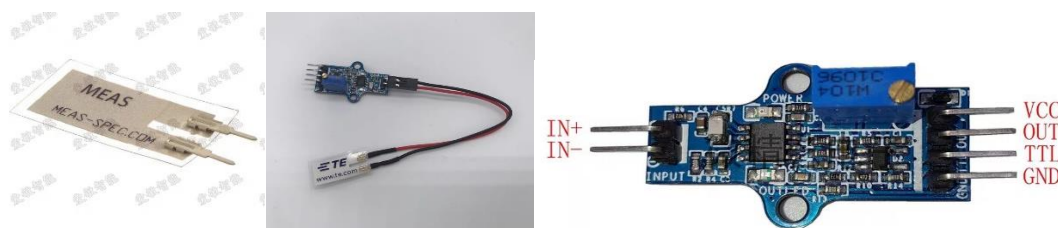


图 5.7 PVDF 压电薄膜与电荷放大模块

压力应变片是检测戴帽是否规范的压力传感器，搭配了信号转换模块，电阻转电压模块。当戴帽时头顶对帽子的压力超过预定的阈值时，将会发生报警。

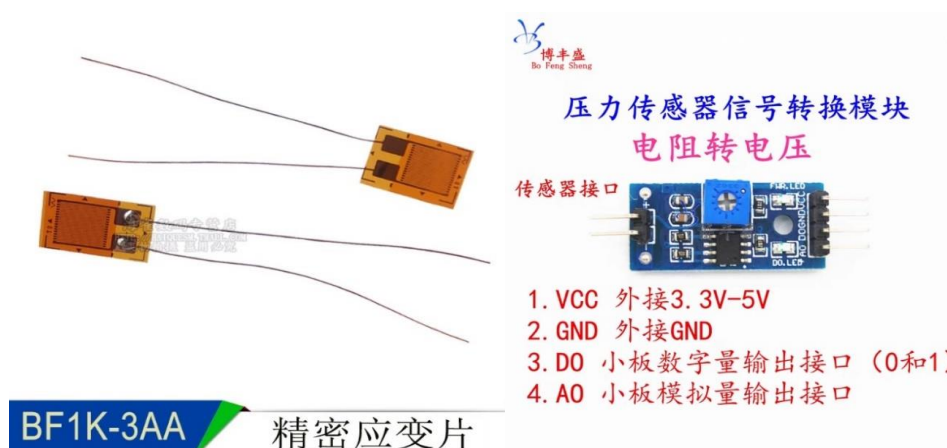


图 5.8 压力应变片与信号转换模块

三轴加速度传感器主要是检测矿工的运动状态，以防止矿工倒地无人知晓，另外可以检测矿工是否在工作时偷懒，保证工效。通信接口有 I2C 和 SPI，在本系统中使用的 I2C 接口。具体详细参数信息如图所示。

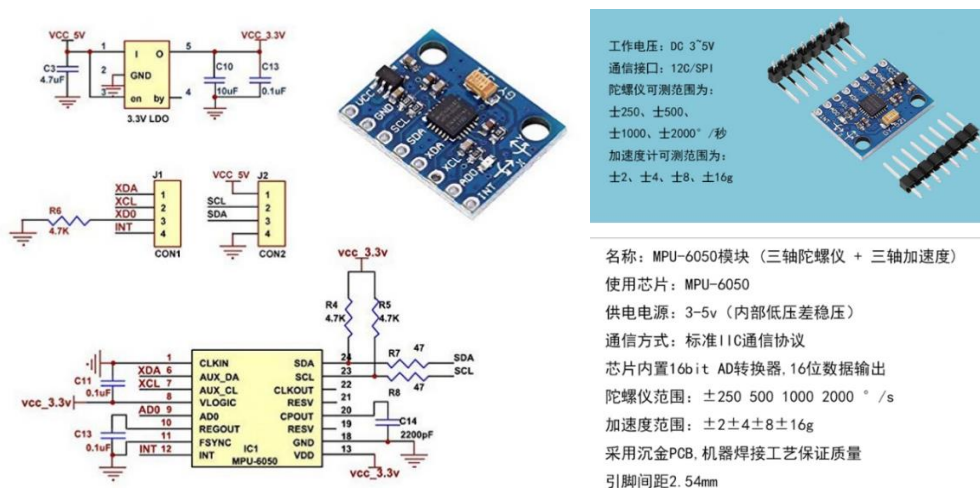


图 5.9 加速度传感器的外观与参数

4) 外设选择

选择了与本系统的安卓开发板相配套的 CSI 摄像头模组 OV5640，像素为 500 万，分辨率为 2592*1944。具体外观与引脚信息如图所示。

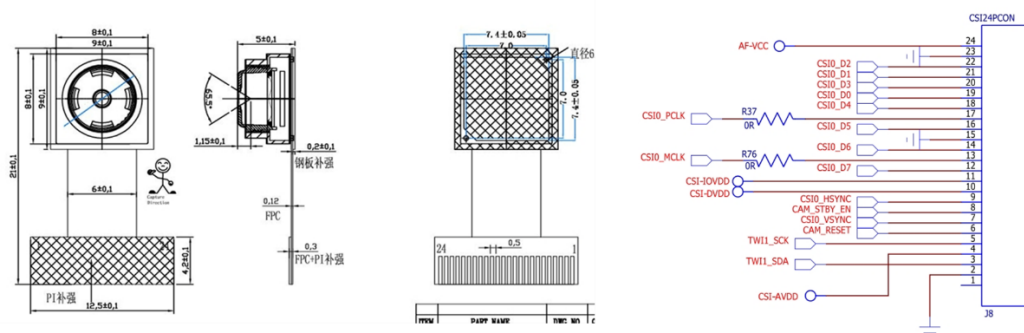


图 5.10 摄像头模组的外观与引脚信息

5) 电池选择

安全帽内包括两种电源。一种是 4000mA 的聚合物锂电池，该锂电池具有轻量、防爆的特点，非常适合应用于矿井环境的安全帽。另外一种为 RTC 电池，主板需要该电池为计数器和 CMOS 部分供电，同时也会给晶振供电使其发出实时时钟为时间提供基准计时。

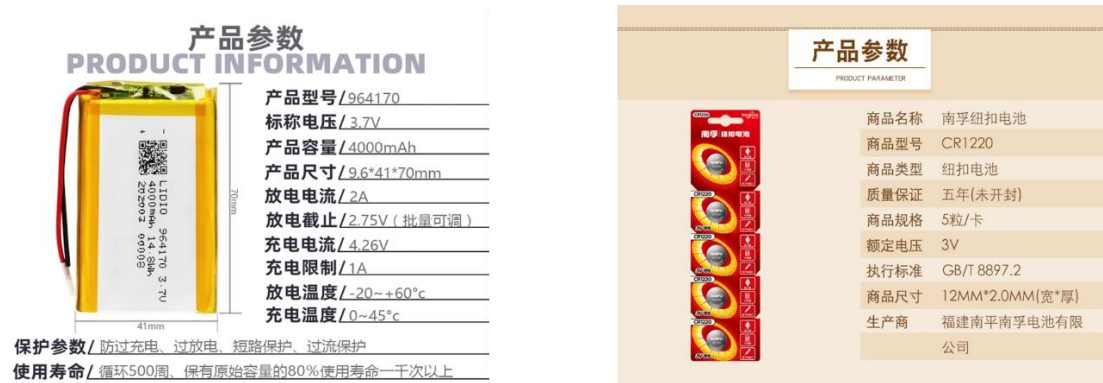


图 5.11 锂电池与 RTC 电池

6) 其他配件

在安卓开发板原有的接口基础上，还选用了其他配件。单孔线耳塞式耳机，只有一个耳机，可以同时兼顾感知外界声音与清楚听清语音通话时的声音。造型采用的时可挂在耳朵上，方便矿工的工作；领夹式麦克风，为了避免环境的过于嘈杂，没有采用板载麦克风；小喇叭蜂鸣器用于发出警报。具体如图 5.12 所示。



图 5.12 耳机，麦克风和小喇叭

每组安全帽搭配了 4 个 LED 发光二极管，分别对应网络状况、佩戴安全、体征平稳和安全帽剩余电量；存储卡由于受安卓芯片的限制，只能选用最大容量为 64G 的 TF 卡，用于存储断网是产生的音视频信息等，待联网重发。



图 5.13 LED 发光二极管和 TF 存储卡

选用带有独立电源的矿灯，不与安全帽使用同一块电源，防止安全帽电池没电时，连矿灯都无法使用的情况；RFID 电子标签使用有源标签，保障更远的识别距离。



图 5.14 矿灯与 RFID 电子标签

系统要实现语音通话，所以选用了 4G USB 转接板，可插入 SIM 卡实现与云平台的连接进行语音通话。具体外观与参数如图 5.15 所示。

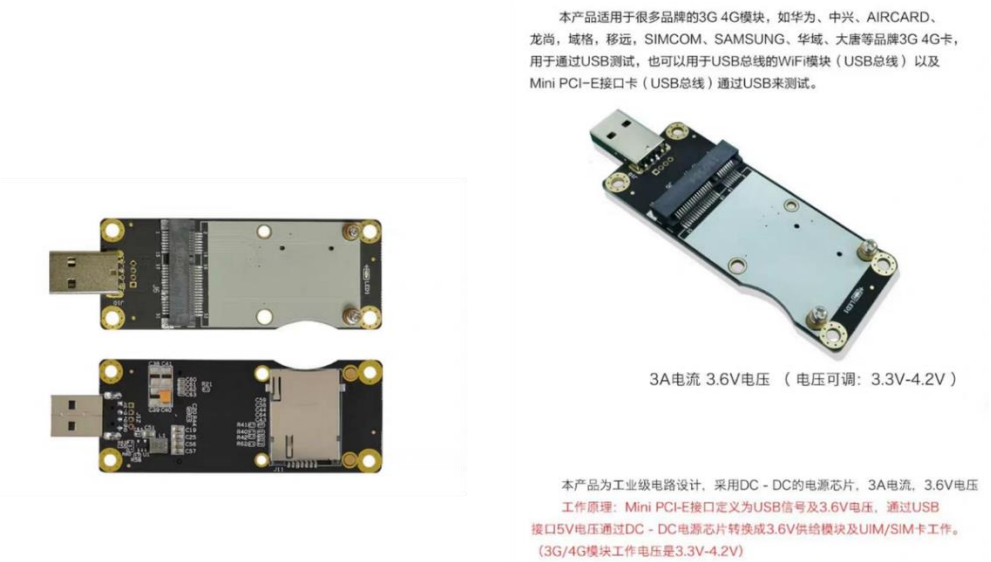


图 5.15 4G USB 转接板

7) 模块拼接

以上为全部模块，有了如上的模块我们可以在安卓开发板上如下部署：

- a) 耳机、麦克风、小喇叭、锂电池、RTC 电池、TF 卡、CSI 摄像头如图接

入。音量控制键、电源键等保持不变。

- b) 心率与压力传感器接入 GPIO 口，加速度传感器接入 SPI 接口，用 UART0 控制 LED 发光二极管，USBHOST 接入 4GUSB 转接板。
- c) 可以删除部分无用的接口，增加一键求救 SOS 按键，语音通话、视频直播推流按键。

5.1.1.3 软件设计流程图

图 5.16 为安卓部分的软件设计流程图，由图可以看出该系统大约包括三个子进程部分：联网通信以及音视频传感数据的上传，传感器还有接触开关触发报警的逻辑设计，最后是电源电量的控制报警。

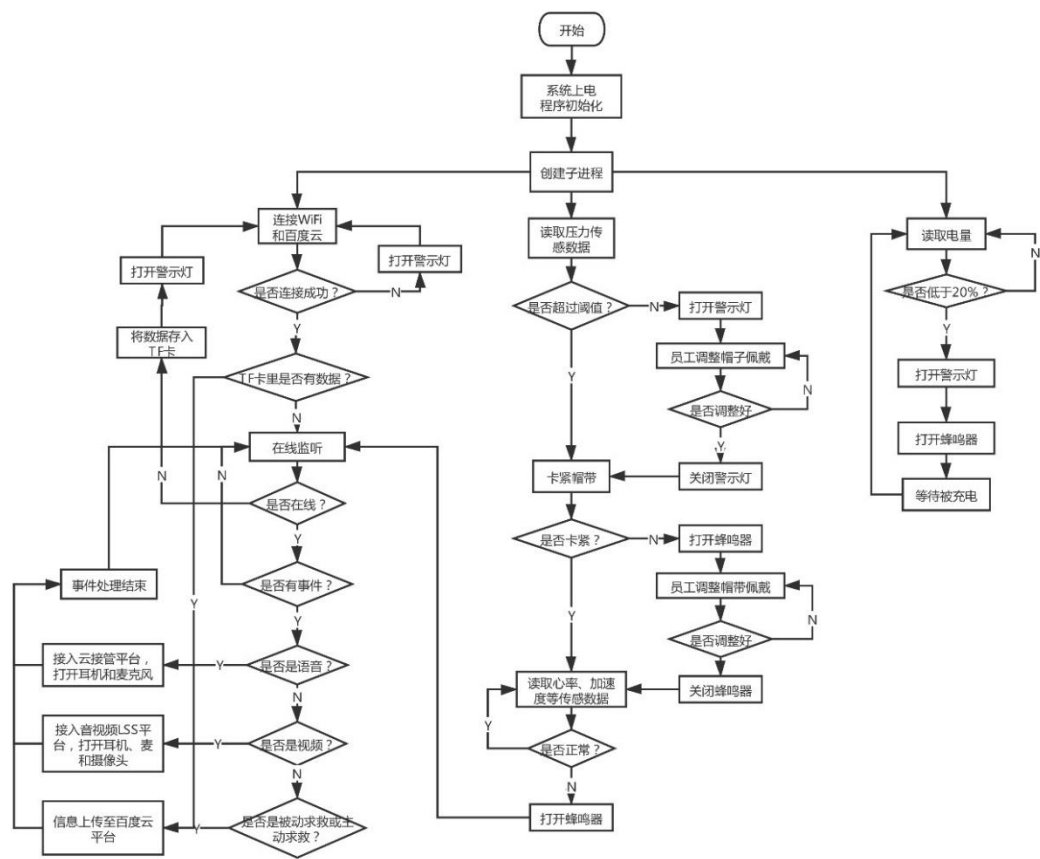


图 5.16 安卓系统软件流程图

5.1.1.4 成本造价

表 5.2 为智能安全帽系统的各个模块的型号规格、单件价格以及采购网址。

根据计算，智能安全帽零件的总价为 750 元，预计手工费 500 元，总共是造价估计为 1250 元，售价暂定为 2000 元。根据我们的调研，相关友商的价钱最低 2400 元一件，最高更是高达 8888 元一件。相比来说我们的成本造价是可以的。

表 5.2 智能安全帽的成本造价

名称	型号或规格	价格	采购网址
安卓开发板	全志 A33+500 万像素摄像头	368	https://m.tb.cn/h.VliKb8N
独立矿灯	4000/12000W	10.9/29.8	https://m.tb.cn/h.VOoX2rN
防水安全帽外壳	加厚 ABS	18	https://m.tb.cn/h.VmHF9uc
干簧管磁控开关	2*14mm	2.48/5 只	https://m.tb.cn/h.V00P2pN
RFID 电子标签	有源 PA08	16.8	https://m.tb.cn/h.VN0rn0l
4GUSB 转接板	EC20SIM7600CE	23	https://m.tb.cn/h.VmjTmCt
PVDF 压电薄膜	LDT0-028K	15	https://m.tb.cn/h.VlBX4qU
PVDF 放大模块	PVA103	152	https://m.tb.cn/h.Vmvpnb04
薄膜压力应变片*2	BF1K-3AA	4	https://m.tb.cn/h.VlCZg7f
电阻转电压模块*2	一路转换	13	https://m.tb.cn/h.VliNCKn
三轴加速度传感器	MPU-6050	5.2	https://m.tb.cn/h.VmFrAwI
领夹式麦克风	1.5m	9.9	https://m.tb.cn/h.VlxIKQZ
单耳机	单孔线耳塞式	9.4(买 5 送 2)	https://m.tb.cn/h.V0lrfqx
小喇叭	3W 4Ω D3.6cm	3.7	https://m.tb.cn/h.V0liwOu
纽扣电池 (RTC)	CR1220	11.9/5 个	https://m.tb.cn/h.Vm09ePQ
防爆锂电池	3.7V 2000mA	13.99+8 (运费)	https://m.tb.cn/h.V0PlXk5
LED 发光二极管	5mm F5 红色	2.5/50 只	https://m.tb.cn/h.VlvP980
内存卡 TF 卡	64G	38.5	https://m.tb.cn/h.Vm0xiPc
杜邦线	母母 2.54mm 10cm	4.62/40 根	https://m.tb.cn/h.VPr595K

5.1.2 环境传感盒设计

5.1.2.1 总体设计

图 5.17 为环境传感盒接线图，开发板上的 D1，D2 口对应于 I2C 的 SDA 和 SCL 接口，连接气压传感器 BMP180，气体传感器 MQ-4 接入 A0 口，温湿度传感器 DHT22 接入 D5 口。图 5.18 是环境传感盒的原理图，只直接了一个电阻，并没有考虑其他元件具体的电路特性，仅供参考。

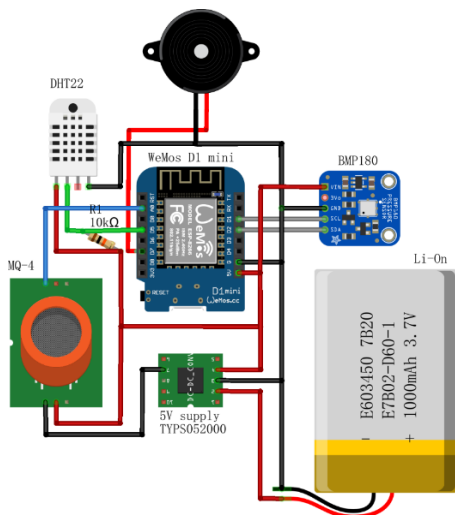


图 5.17 环境传感盒接线图

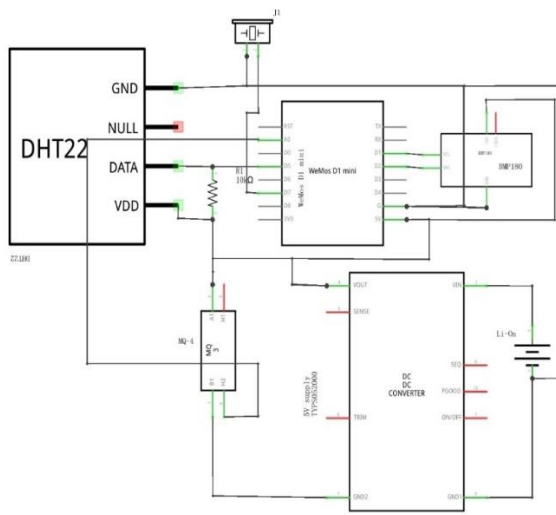


图 5.18 环境传感盒原理图

5.1.2.2 元件选型

1) WIFI 开发板

选择 WeMos D1 mini。Arduino 平台是非常方便的开源硬件平台。使用 ESP8266，可以让开发板非常方便的通过 Wifi 来连接百度天工物接入服务。具体的参数与引脚信息



芯片	ESP-8266EX
工作电压	3.3V
数字IO引脚	11
模拟输入引脚	1
时钟频率	80MHz/160MHz
闪存	4M bytes
长度	68.6mm
宽度	53.4mm
重量	25g

引脚	功能	对应ESP8266
TX	TXD	TXD
RX	RXD	RXD
A0	模拟输入口	A0
D0	IO	GPIO16
D1	IO, SCL	GPIO5
D2	IO, SDA	GPIO4
D3	IO, 10k Pull-up	GPIO0
D4	IO, 10k Pull-up, BUILTIN_LED	GPIO2
D5	IO, SCK	GPIO14
D6	IO, MISO	GPIO12
D7	IO, MOSI	GPIO13
D8	IO, 10I Pull-down, ss	GPIO15
G	Ground	GND
5V	5V	-
3V3	3.3V	3.3V
RST	Rest	RST

图 5.19 开发板参数与引脚

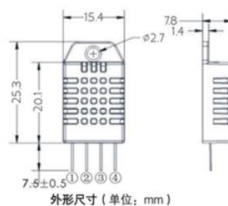
2) 传感器选择

温湿度传感器选用 DHT22(又称 AM2302)，相比于 DHT11，它的精度更高，使用时要接入一个电阻。具体外观和参数如图 5.20 所示。

单总线接口定义
AM2302 引脚分配

表 1: AM2302 引脚分配

引脚	名称	描述
①	VDD	电源 (3.3V~5.5V)
②	SDA	串行数据, 双向口
③	NC	空脚
④	GND	地



外形尺寸 (单位: mm)

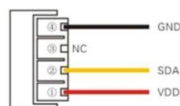


图 1: AM2302 引脚分配图

技术参数

测量范围:
温度: $-40 \dots +80^{\circ}\text{C}$ 湿度: $0 \dots 99.9\% \text{RH}$
精度 (25 $^{\circ}\text{C}$ 环境下):
温度: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 湿度: $\pm 2\% \text{RH}$ (10 ... 90 %RH)
分辨率: 温度: 0.1°C 湿度: $0.1\% \text{RH}$
衰减: 温度: $< 1^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 湿度: $< 1\% \text{RH}/\text{年}$
传感器类型:
温度: 电阻式传感器 湿度: 电容式传感器
响应时间: 温度: 5s 湿度: $5s \cdot 1/e(63\%)$
工作温度范围: $-40 \dots +80^{\circ}\text{C}$
电源: DC: 3.3~5.5V
外壳材料: PC 塑料
重量: 1g

图 5.20 温湿度传感器参数与引脚

气体传感器选用主要检测天然气和甲烷的 MQ-4。它具有对甲烷天然气具有很高的灵敏度、对乙醇、烟雾的灵敏度很低、快速的响应恢复特性、长期的使用寿命和可靠的稳定性以及简单的驱动电路等特点, 大量应用于工业的甲烷、天然气的探测。具体的外观参数如图 5.21 所示。



输入电压	DC5V 功耗 (电流): 150mA
DO输出	TTL数字量0和1 (0.1和5V)
AO输出	0.1-0.3V (相对无污染), 高浓度电压4V左右
特别提醒: 传感器通电后, 需要预热20s左右, 测量的数据才稳定, 传感器发热属于正常现象, 因为内部有电热丝, 如	
检测浓度	300-10000ppm(可燃气体)
标准电路条件	回路电压 V_c $\leq 24\text{VDC}$
	加热电压 V_h $5.0\text{V} \pm 0.2\text{V AC or DC}$
	负载电阻 R_L 可调
标准测试条件下气敏元件特性	加热电阻 R_h $31\Omega \pm 3\Omega$ (室温)
	加热功耗 P_h $\leq 900\text{mW}$
	敏感体表面电阻 R_s $2\text{K}\Omega - 20\text{K}\Omega$ (in 2000ppm C ₃ H ₈)
	灵敏度 S $R_s(\text{in air})/R_s(1000\text{ppm异丁烷}) \geq 5$
	浓度斜率 a $\leq 0.6(R_{3000\text{ppm}}/R_{1000\text{ppm C}_3\text{H}_8})$
标准测试条件	温度、湿度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}; 65\% \pm 5\% \text{RH}$
	标准测试电路 $V_c: 5.0\text{V} \pm 0.1\text{V}; V_h: 5.0\text{V} \pm 0.1\text{V}$
	预热时间 不少于48小时

图 5.21 气体传感器的参数与引脚

气压传感器选用 BMP180。它是一款高精度、小体积、超低能耗的压力传感器, 他的性能卓越, 精度高可以达到 0.03hPa 而且耗电低。通过 I2C 总线与微处理器相连。具体外观与特点如图 5.22 所示。



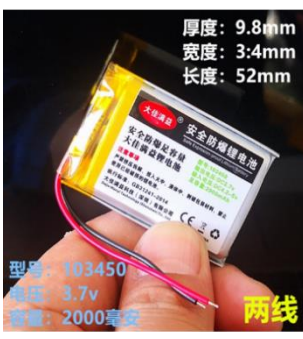
BMP180是一款**高精度、小体积、超低能耗**的压力传感器，可以应用在移动设备中它的性能卓越，精度低可以达到0.03hPa，并且耗电低，只有3μA BMP180采用强大的8-pin陶瓷无引线芯片承载（LCC）超薄封装，可以通过I2C总线直接与各种微处理器相连

主要特点：
压力范围：300~1100hPa（海拔9000米~~500米）
电源电压：1.8V~3.6V（VDDA），1.62V~3.6V（VDD） VIN需要5V
LCC8封装：无铅陶瓷载体封装（LCC）
低功耗：5μA，在标准模式
高精度：低功耗模式下，分辨率为0.06hPa（0.5米）
高线性模式下，分辨率为0.03hPa（0.25米）
含温度输出
I2C接口
温度补偿
无铅，符合RoHS规范
MSL 1反应时间：7.5ms
待机电流：0.1μA
无需外部时钟电路

图 5.22 气压传感器的参数与引脚

3) 其他配件

其他配件的选择主要有 2000mA 的聚合物锂电池，具有防爆的特点，防止矿井环境下的电池爆炸。由于开发板的电源是 5V，而锂电池的输出电源为 3.3V，所以需要将 3.3V 电压转为 5V。另外还有小喇叭蜂鸣器的选用。具体外观参数如图 5.23 所示。



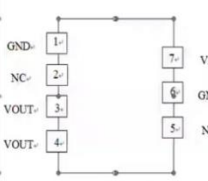
厚度：9.8mm
宽度：3.4mm
长度：52mm


型号：103450
电压：3.7v
容量：2000毫安

两线

尺寸超小：
9MM X 11MM

非常适合嵌入式使用。
适用于PCB的设计，工业板的内部电源等。





Φ 4CM
4Ω 3W

引脚	参数	说明
1#	GND#	地
2#	NC#	悬空
3#	VOUT#	输出电压
4#	VOUT#	输出电压
5#	NC#	悬空
6#	GND#	地
7#	VIN#	输入电压，2.5-5.5V

此喇叭被广泛应用于小音箱、便携式音箱产品
采用环保耐高温材料！功率足3W，质量好做工细，
音质较佳！此款扬声器为高阻抗，材质较好！

直径	4CM
高度	2CM
规格	4欧3瓦
外形	圆形
额定功率	3 (W)
额定阻抗	4 (Ω)
频率响应	170 (kHz)

图 5.23 聚合物电池、降压模块和小喇叭蜂鸣器

5.1.2.3 软件设计流程图

图 5.24 为环境传感盒的具体软件设计流程图，主要包括连接 WiFi 和百度云平台，实现传感数据的联网上传、传感器读取环境数据以及判断是否需要警报等逻辑功能设计。

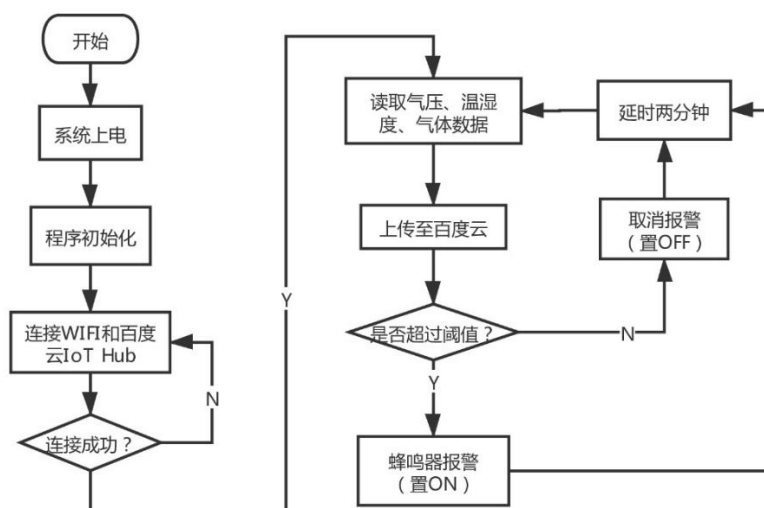


图 5.24 环境传感盒软件设计

5.1.2.4 成本造价

表 5.3 中列出了环境传感盒所需的各个模块及其具体的型号规格、单件价格以及采购网址等。总共的元件价格为 85 元，预计手工费为 100 元，估价为 185 元，售价定为 250 元。

表 5.3 环境传感盒成本造价

名称	型号或规格	价格	采购网址
ESP8266 开发板	mini D1	10.29+2.6(运费)	https://m.tb.cn/h.VPjFMrM
温湿度传感器	DHT22	13.5+3.5(运费)	https://m.tb.cn/h.VlxXpdu
气压传感器	BMP180	10.8	https://m.tb.cn/h.V09EYnP
气体传感器	MQ-4	6.11	https://m.tb.cn/h.Vlx561
防爆锂电池	3.7V 2000mA	19.8	https://m.tb.cn/h.VlxULeJ
DC 降压模块	3.7V→5V	4.8+8(运费)	https://m.tb.cn/h.V0lUlu7
小喇叭	3W 4Ω D3.6cm	3.7	https://m.tb.cn/h.V0liwOu
电阻	10k	2.1/100 个	https://m.tb.cn/h.VPrUeRY
塑料外壳定制	外壳保护	大约 1 元左右	暂无

5.2 网络层设计

5.2.1 网络层总体架构

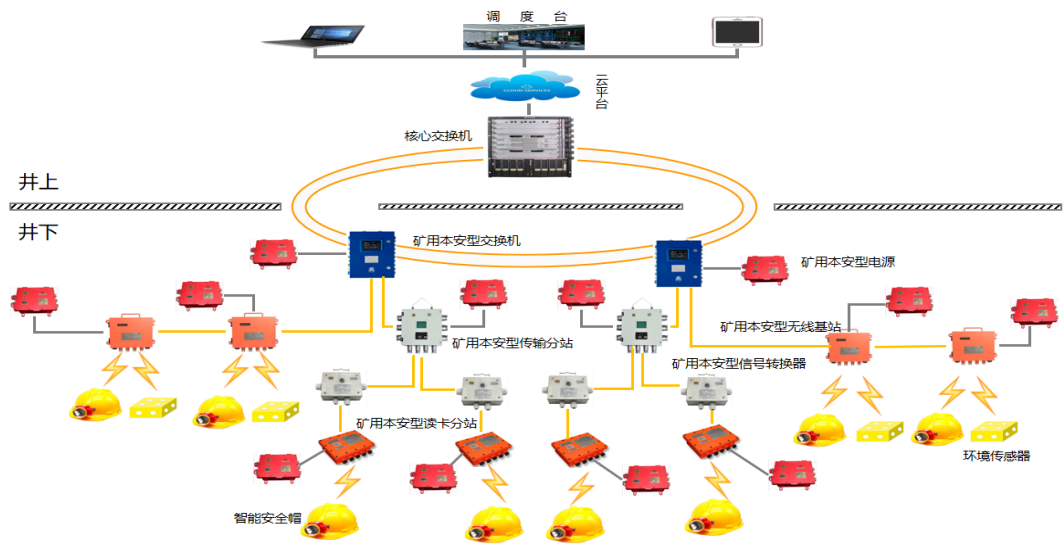


图 5.25 网络架构图

本智能安全帽项目进行数据传输和通信主要采用 WiFi 技术和 RFID 技术。其中，实时采集的视频、连线通信的语音、环境感知的数据等数据传输基于 WiFi 技术；人员打卡信息，人员定位信息等数据传输基于 RFID 技术。

本智能安全帽项目的网络架构图如图 5.25 所示。图中，矿下的智能安全帽和环境传感盒采集到的数据通过 WiFi 和 RFID 传送至地面，再通过核心网接入云平台，实现数据上传。调度中心、微信小程序、Web 端从云平台获取相关数据，并对数据进行相关分析和可视化呈现。调度中心会根据相关情况，与矿工通过 WiFi 取得通信，实现命令下达。

本智能安全帽项目在矿井上下采用的是环网冗余技术的网络链接，此项技术不仅能够保证网络在遇到故障时，通讯能快速恢复，还可以在环网链接断开时通过出错继电器、指示灯或 SNMP 发出警报。一旦出现环网断开的情况，指示灯将会在断开连接交换机上发出警报，激活其状态继电器，将出错信息通过 SNMP 反馈给用户。同时，考虑到矿井中环境复杂，极易产生爆炸等事故，本项目在井下采用的网络设备都是本安型的。本安型是所有防爆型中最安全的一种，本安型产品不管是内部短路或断路，均不能引起周围环境的易燃易爆气体爆炸，从而保证了矿下通信的安全性。

如图 5.25 所示，在矿下，本智能安全帽项目所需的网络设备主要有：矿用本安型交换机、矿用本安型电源、矿用本安型无线基站、矿用本安型传输分站、矿用本安型读卡分站、矿用本安型信号转换器。其中，矿用本安型交换机通过光纤连入网络，通过光纤与矿用本安型无线基站相连，通过 RS485 与矿用本安型传输分站相连；矿用本安型无线基站之间利用光纤通过桥接的方式相连；矿用本安型传输分站和矿用本安型读卡分站之间通过 RS485 相连。

5.2.2 网络设备的功能及选型

矿用本安型交换机

矿用本安型交换机主要是用于组建煤矿井下千兆位环形冗余网络，实现数据的高速、可靠传输。

表 5.4 KJJ18 矿用本安型网络交换机的技术参数

项目	技术参数
工作电压	18V DC
工作电流	700mA
最大传输速率	1000Mbps
环网自愈时间	< 20ms
千兆光口	3路，最大传输距离10km
百兆光口	2路，最大传输距离20km
百兆电口	4路，最大传输距离100m
本安数据信号	4路，RS485
最大传输距离	10km（1200bps时）
外形尺寸	497 mm×381 mm×110 mm
质量	7.6kg
防爆型式	矿用本质安全型 Exib I

在本项目中，选择 KJJ18 矿用本安型网络交换机。根据表 5.4，此款交换机的优势如下：

- 1. 交换机采用高速环网冗余协议，环网自愈时间小于 20ms；
- 2. 交换机具有 VLAN、端口聚合、端口镜像、流量控制、事件告警等丰富的网管功能；
- 3. 交换机支持多播过滤和广播风暴抑制，避免了环网广播风暴的产生。使数

据通信更可靠。

矿用本安型传输分站

矿用本安型传输分站主要是用来采集、处理从各个读卡分站传来的人员监测数据。当地面监测主机发出巡检命令时，各传输分站会将所存数据通过传输电缆上传给地面监测主机；当传输分站与监测主机线路故障时，能独立工作，并能实现全部原有功能；当恢复正常后，能将存储的数据上传到监测主机。

表 5.5 KJ128A-F 型传输分站的技术参数

项目		技术参数
工作电压		DC18V
工作电流		≤200mA
与接口通信	传输方式	RS485、主从、半双工
	传输速率	1200/2400bps
	信号电压峰峰值	3.5V~1.0V
	最大传输距离	> 10km
与读卡分站通信	传输方式	RS485、主从、半双工
	传输速率	2400/4800bps
	信号电压峰峰值	3.5V~1.0V
	最大传输距离	≥2km
	连接数	每个传输分站最多可配接 6 个读卡分站
断线存储		在通讯线路故障情况下，至少能存储 6 个读卡分站上传的 2 小时数据；通讯恢复后正确上传数据到主机

在本项目中，选择 KJ128A-F 型传输分站。根据表 5.5，可知，此交换机一次最多可以连接 6 个读卡分站，即可以并行处理 6 个读卡分站的数据，加快了数据处理的传输的效率。

矿用本安型读卡分站

矿用本安型读卡分站主要是用于识别带有矿工身份信息的 RFID 标签，实现智能人工打卡和智能人工定位等功能。

在本项目中，我们采用的是超高频的 RFID，主要是出于以下两个方面的考虑：

- 1. 若采用微波频段的 RFID，会有 WiFi 撞频。影响数据传输的速率和效率。
- 2. 超高频的信号衰减慢与微波频段，且工作距离也比微波频段长。

在本项目中，选择 KJ128D-F1 读卡分站。根据表 5.6，该读卡分站采用了 PR-

ASK 调制方式，调制射频包络的脉冲宽度窄很多，即该调制方式的低能量传输时间要短很多。在相同的发射功率下，PR_ASK 能够更好的为标签提供载波能量，从而使读写器与标签之间的交互距离更远。

表 5.6 KJ128D-F1 读卡分站技术参数

项目		技术参数
工作电压		DC12V
与传输分站通信	传输方式	以太网
	传输速率	100Mbps
	最大传输距离	2km
与 RFID 标签信号传输	调制方式	PR-ASK
	工作频率	920~925MHZ
	接收灵敏度	-86 dBm
	发射功率（EIRP）	≤10dBm
	识别距离	0~5m（可视距离）
	识别 RFID 标签数	并发识别量超过 150 张 RFID 标签。抗冲突能力强

矿用本安型无线基站

矿用本安型无线基站是整个无线信号接入点，是本网络中实现 WiFi 传输数据的关键。

表 5.7 KTW138 矿用本安型无线基站技术参数

项目		技术参数
工作电压		DC12V
工作电流		≤600mA
有线传输参数	通信协议	标准 TCP/IP 通讯协议
	传输速率	10/100Mbps 自适应
	光纤接口数量	2 对
	光发射功率（dBm）	-15~0（光波长：单模 1310nm）
	光接收灵敏度（dBm）	≤-30（光波长：单模 1310nm）
无线传输参数	通信协议	IEEE 802.11b/g/n
	工作信道	1、6、11
	工作频率（MHz）	2400~2483
	发射场强（dBm/m）	-35~-10
	接收灵敏度（dBm/m）	≤-80
	调制方式	OFDM

在本项目中，选择 KTW138 矿用本安型无线基站。根据表 5.7，此款无线基站的优点在于：

1. 内置光电转换模块（2 光 3 电），可进行分支链路部署
2. 基站之间可以无线网桥的桥接功能
3. 吊装和挂装都可以，安装和维护都比较方便

据调查，此款无线基站的^{最大传输距离为 800m}。考虑到矿井内环境复杂，信号衰减较大，同时需要避免基站之间信号的相互干扰，本项目中预设基站间安装的距离为 $400\text{m}<d<800\text{m}$ 。具体的无线基站之间的安装距离需要根据矿井的实际应用环境进行测量。

矿用本安型信号转换器

因所选用的 KJ128A-F 型传输分站的传输方式为 RS485，所选用的 KJ128D-F1 读卡分站的传输方式为以太网。所以需要通过信号转换器实现信号转换，实现读卡分站和传输分站之间的数据通信。

在本项目中，选择 KZC18 矿用本安型信号转换器。

表 5.8 KZC18 矿用本安型信号转换器

项目		技术参数
工作电压		DC18V
工作电流		≤200mA
485 传输	接口数量	1 路
	传输方式	半双工、RS485、双极性
	传输速率	1200bit/s
	信号工作电压峰峰值	2V~10V
	最大传输距离	10 km
以太网电口传输	接口数量	1 路
	传输方式	全双工 TCP/IP 电信号传输
	传输速率	10Mbps/100Mbps 自适应
	信号工作电压峰峰值	1V~5V
	最大传输距离	50 m

矿用本安型电源

本项目中 KJJ18 矿用本安型网络交换机、KJ128A-F 型传输分站、KZC18 矿用本安型信号转换器等工作电压是 18V；KJ128D-F1 读卡分站、KTW138 矿用本安型无线基站等工作电压是 12V。

在本项目中，选择 KDW127 系列矿用隔爆兼本安型直流稳压电源。根据表 5.9 可见，此款矿用本安型电源的输出电压包括 12V、18V、24V，能够满足本项目中

网络设备的工作电压需求。

表 5.9 KDW127 系列矿用隔爆兼本安型直流稳压电源技术参数

项目		技术参数		
电源输入		AC127V /380V /660V		
电源输出	额定输出电压	12V	18V	24V
	额定输出电流	1. 2A	0. 8A	0. 45A
	过压保护电压	<13. 5V	<19. 8V	<25. 8V
	过呀保护电流	<1. 30A	<0. 9A	<0. 50A
保护方式		双重过压、过流保护		
工作方式		连续，不间断供电。		
备用电池		电池容量 32. 4V2. 2Ah，供电时间 2 小时以上。		
充电方式		自动浮充		

设备选型链接

据调查，当前煤矿中采用较多的无线通信方式是 WiFi，所以许多煤矿企业在矿下都有搭建好的 WiFi 传输网络。本智能安全帽项目可以利用已搭建好的网络进行数据传输。表 5.10 中所给出的网络设备是基于本项目给出的最优解决方案，若有些煤矿企业并未搭建好矿下网络，或缺少某些关键的网络设备，则可以根据表 5.10 中给出的采购网址进行相应的网络设备采购。

表 5.10 设备选型表

名称	采购网址
KJ118 矿用本安型网络交换机	http://www.lianli.com.cn/product/cgq-363.html
KJ128A-F型传输分站	http://www.3shine.com/product/14_95
KJ128D-F1读卡分站	http://product.rfidworld.com.cn/2014_11/d0347ece0754ccbc.html
KTW138矿用本安型无线基站	http://www.tpy888.cn/sell/show-3008376.html
KDW127系列矿用隔爆兼本安型直流稳压电源	http://supply.afzhan.com/sale/detail-7458867.html
KZC18矿用本安型信号转换器	http://www.3shine.com/m/system/38_186
矿用光缆	http://www.gzyxin.com/Products/MGTsvkuangyongguangl.html
矿用电缆	http://www.nanyangcable.com/product/167.html

5.2.3 网络层的通信协议

本智能安全帽项目采用的通信协议如图 5.26 所示，物理层和数据链路层采

用的通信协议是 WiFi；网络层和传输层采用的通信协议是 IPv4、IPv6、TCP；应用层采用的通信协议是 MQTT、RTMP、HTTP。

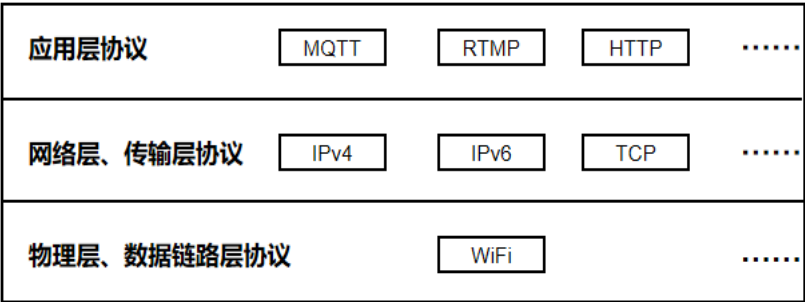


图 5.26 网络层通信协议

5.2.4 网络层通信数据帧格式

WiFi 协议数据帧

WiFi 基于 IEEE 802.11 协议标准，IEEE 802.11 的帧格式可以分为三类：管理帧、控制帧、数据帧。基站与矿下设备，即与智能安全帽和环境传感盒之间的数据传输的数据帧分为如下两种：

- 1. 由设备向基站发送的数据帧如图 5.27 所示，其数据帧中 Address 1 由基站的 MAC 地址组成，Address 2 由设备的 MAC 地址组成，Address 3 由云服务器的 MAC 地址组成，帧控制部分如图 5.28 所示，图 5.28 中，第 9、10 位表示的是此帧是由设备发送至基站的。
- 2. 由基站向设备发送的数据帧如图 5.29 所示，其数据帧中 Address 1 由设备的 MAC 地址组成，Address 2 由基站的 MAC 地址组成，Address 3 由云服务器的 MAC 地址组成，帧控制部分如图 5.30 所示，图 5.30 中，第 9、10 位表示的是此帧是由基站发送至设备的。

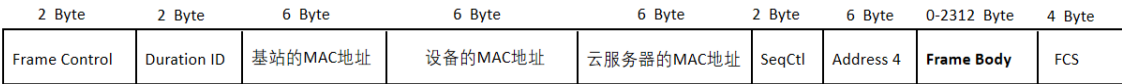


图 5.27 设备至基站的 WiFi 数据帧

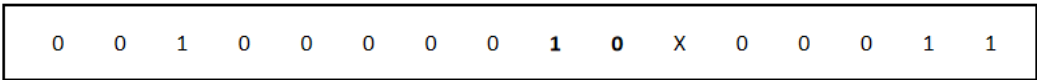


图 5.28 设备至基站的 WiFi 数据帧中的帧控制部分



图 5.29 基站至设备的 WiFi 数据帧

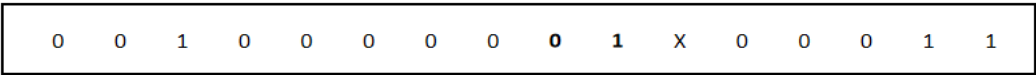


图 5.30 基站至设备的 WiFi 数据帧中的帧控制部分

MQTT 协议数据帧

MQTT 协议是一种可以用极少的代码和有限的带宽，为连接远程设备提供实时可靠的消息服务。本智能安全帽项目主要采用 MQTT 协议传输由环境传感器采集到的环境数据和由 RFID 标签传递的定位信息。其中环境传感器至云平台的 MQTT 数据帧如图 5.31 所示，RFID 定位信息至云平台的 MQTT 数据帧如图 5.32 所示。

图 5.31 中，采用的固定头是 0x30，即此数据帧的固定头中的标志位 QoS=00。考虑到本项目中环境传感盒感知到的数据每 2 分钟会上传一次至云端，丢失一次数据对整体的影响不大，所以本项目采用 QoS=00，即服务质量不太高的 MQTT 数据帧传送环境传感数据。

图 5.32 中，采用的固定头是 0x32，即此数据帧的固定头中标志位 QoS=10，即采用了最高级别的服务质量，消息丢失和消息重复都是不可接受的。确保消息到达云端且只到达一次。本项目中采用最高级别服务质量的 MQTT 数据帧传送 RFID 定位信息。保证云端能实时准确的获得矿井下人员的位置信息。

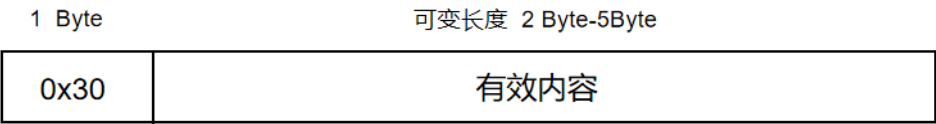


图 5.31 环境传感器至云平台的 MQTT 数据帧

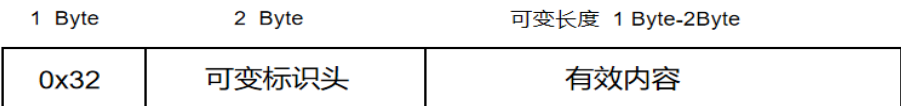


图 5.32 RFID 定位信息至云平台的 MQTT 数据帧

RTMP 协议数据帧

RTMP 是实时传送消息协议，其有效的保证了媒体传输质量，使用户可以观

看到高质量的多媒体。同时，其传输的 FLV 封装格式支持的 H.264 视频编码方式可以在很低的码率下显示质量还不错的画面，非常适合网络带宽不足的情况下收看流媒体。本项目中采用 RTMP 协议主要是用于向云端传送智能安全帽采集到的视频和音频。智能安全帽至云平台的 RTMP 数据帧如图 5.33 所示，其中 RTMP 数据帧中的消息类型有两种，消息类型=0x08，表示传输的是音频流，消息类型=0x09，表示传输的是视频流。

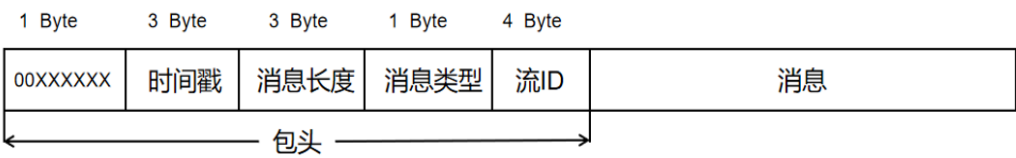


图 5.33 智能安全帽至云平台的 RTMP 数据帧

5.3 应用层设计

5.3.1 数据库设计

数据库各表设计如下

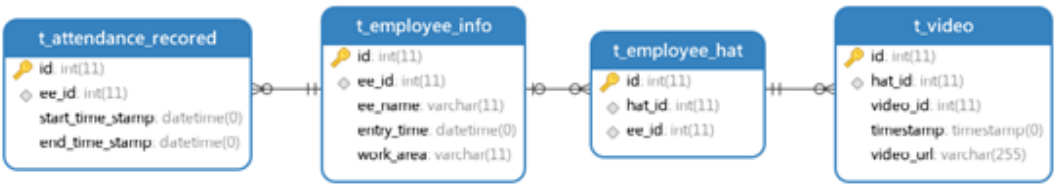
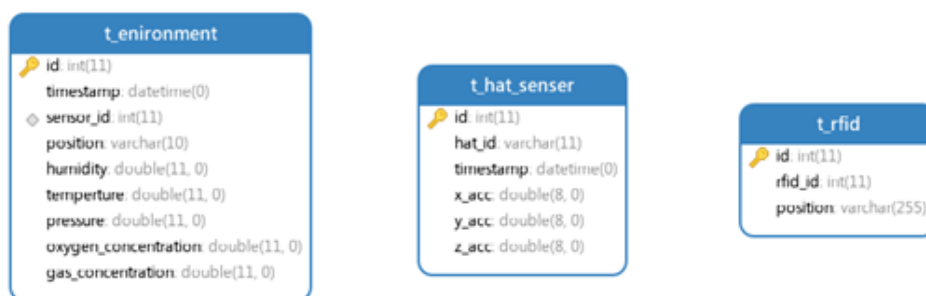


图 5.3.1.1 员工管理、考勤、视频管理



图 5.3.1.2 角色权限管理

角色权限管理的设计，一个用户拥有若干角色，每一个角色拥有若干权限。这样，就构造成“用户-角色-权限”的授权模型。在这种模型中，用户与角色之间，角色与权限之间，一般者是多对多的关系。基于角色的访问控制，对应用系统能起到对信息安全的保护作用。



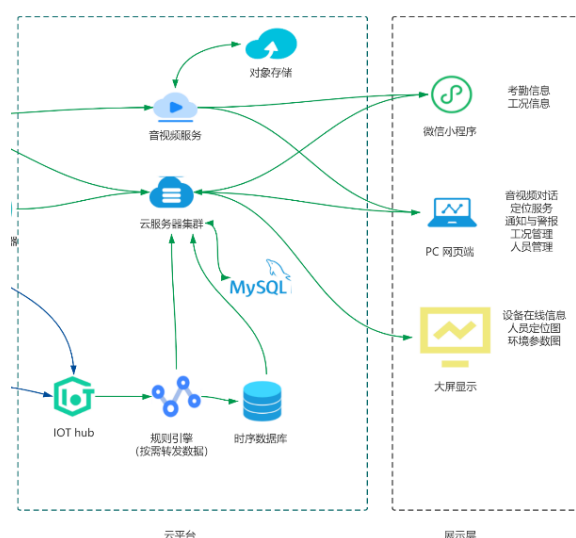
5.3.1.3 传感器数据（时序数据库）

其中时序数据库，适合于按照指定的时间粒度持续写入，支持实时、高并发写入，无须更新或删除操作的应用场景。有写多读少，多时间粒度、指定维度读取，实时聚合的特点。它在数据存储上按列存储，通过查询特征发现时序数据更适合将一个指标放在一起存储，任何列都能作为存储，读取数据时只会读取所需要的维度所在的列；以不同时间粒度存储，将最近时间以一个比较细的粒度存储，可以将历史数据聚合成一个比较粗的粒度。减少了存储空间，同时提高了查询效率。十分适合物联网应用场景，其价格也较 MySQL 这种传统数据库便宜。



5.3.3.4 RFID 与安全帽的关联表

5.3.2 服务器设计



本系统由百度云平台提供服务支撑，使用了云服务器、IOT Hub、规则引擎、时序数据库、Mysql 数据库、音视频平台、对象存储。其中整体数据通信过程在 4.2.2 已介绍，不再赘述。

前端：微信小程序、大屏（基于百度云物可视服务）、PC 网页端（基

于 AdminLTE)。

后端：基于 Flask 框架把业务代码部署在云服务器上，结合音视频平台实现音视频对话、视频管理功能，配合 IOT Hub、规则引擎，进行设备接入管理、和数据转发功能。以时序数据库、Mysql 数据库、对象存储作为数据存储。

5.3.3 应用界面设计

智能小黄系统的应用展示界面主要包括网页后台管理端、微信小程序信息展示端和控制大屏展示调度部分。

5.3.3.1 网页

网页界面是智能小黄系统的后台管理端，面向整个系统中的各层管理者。主界面如图所示。个人信息管理界面如图所示。对于不同的管理者具有不同的管理权限，可以实现管理的功能主要有图所示的工时统计界面，如图所示的工地环境界面以及如图所示的视频指导界面。



图 网页主界面

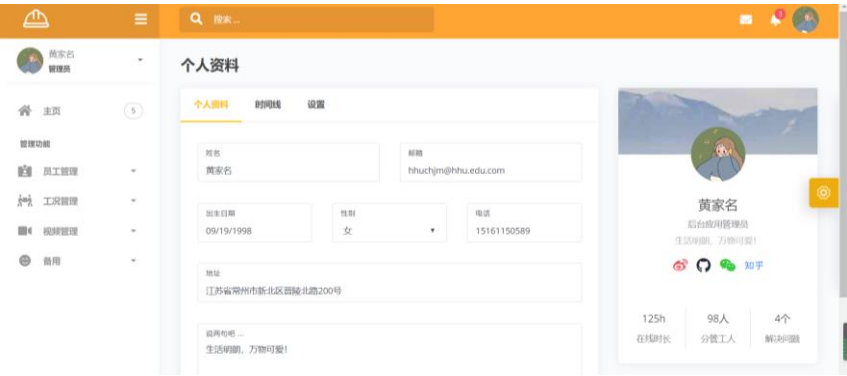


图 网页个人信息界面



图 网页工时统计界面



图 网页工地环境界面

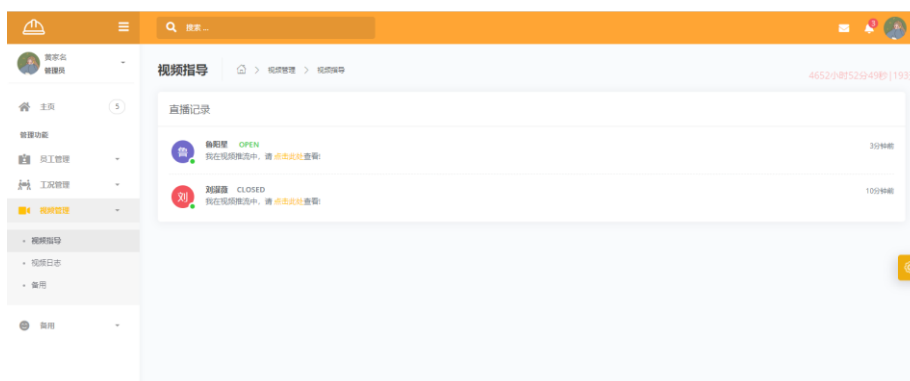


图 网页视频指导界面

5.3.3.2 微信小程序

微信小程序的主要使用人群为矿井工作人员。矿井工作人员可以在下井之前通过使用手机打开微信小程序，查看距离当前所在地最近的矿井下的环境数据，如果环境较为恶劣就可以选择不下井；或者当矿井工作人员从井下出来之后，可以查看今日的上班打卡时间和下班打卡时间以及个人的总工时等等。部分具体的

界面设计如图所示。

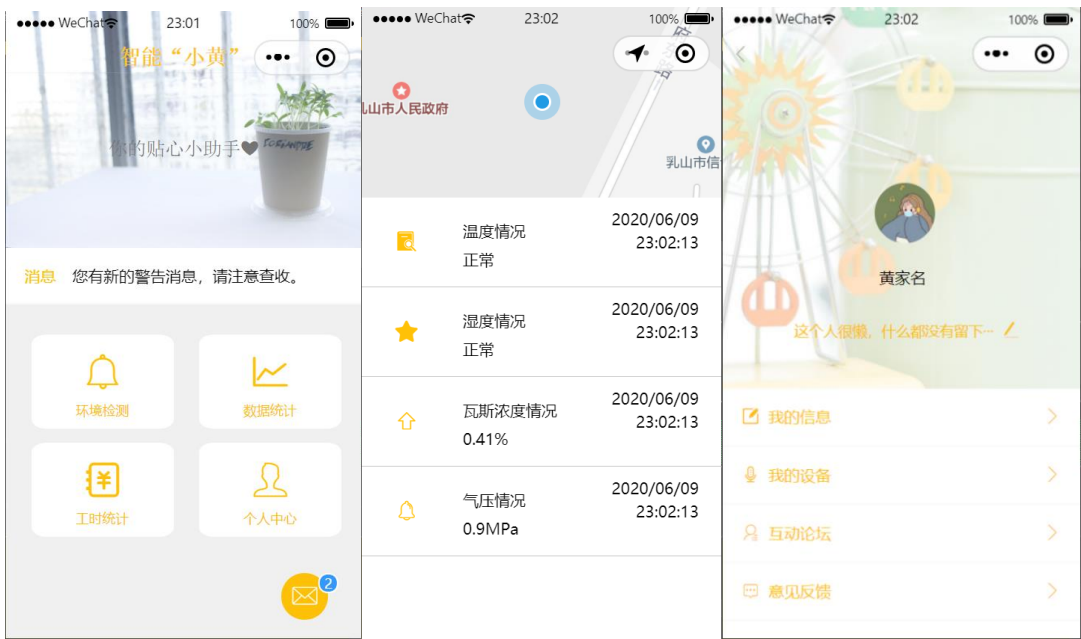


图 微信小程序部分界面

5.3.3.3 大屏展示

大屏主要部署在管理中心，管理人员通过大屏可以实时监控系统的各项信息，包括设备连接情况、矿井环境数据、人员实时地图分布，网络状态和警报等。具体的设计图如图所示。

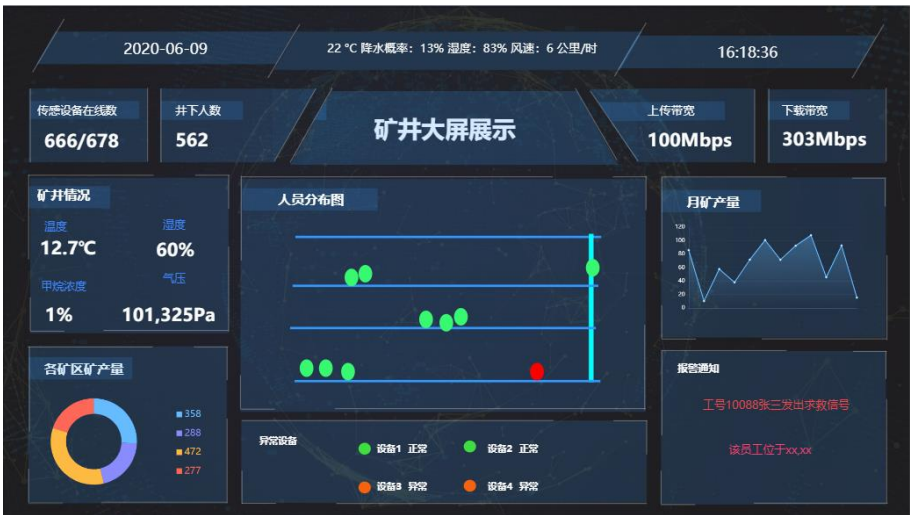


图 大屏展示界面

5.4 安全设计

5.4.1 设备防爆安全

网络层设备中信号转换器、无线基站、交换机、直流稳压电源在采购过程中都选取的本安型或者隔爆的设备。在智能安全帽与环境感知盒设计中，外壳材料使用阻燃性材料，并对主要电路和电池进行、散热、隔爆处理。这能有效防止因矿井中的瓦斯等可燃气体，接触到电路中的火花或者高温而产生爆炸，或者降低爆炸风险。

5.4.2 服务器与数据安全

1. 基于百度云提供业务安全风控、DDoS 防护，证书服务 SSL、数据库审计等云安全解决方案。
2. 软件系统设计中的权限设计、日志审查、加密存储、数据准确性的检测，等信息安全设计。
3. 设备的防伪认证，设备断网后的数据重传。

5.4.3 定位服务的高可用性

在智能安全帽设计中，RFID 标签独立于安全帽其他硬件，就是为了一旦发生塌方的事故，在安全帽电池耗尽或者损坏后，RFID 标签仍能继续工作实现定位功能，方便救援行动的展开。

5.4.4 矿灯的独立设计

同样基于安全考虑，智能安全帽上的矿灯我们采用了具有独立电源的外设模式，无论安全帽是否有电，矿灯能够独立起作用，是在矿井中的重要的安全措施。

参考文献

- [1] 张志斌. “互联网+安全管理”的创新应用——智能安全帽云平台的设计思路与案例应用[J]. 施工企业管理, 2018.
- [2] 李育冰, 胡闯. 基于远程监控技术的智能安全帽研究及应用[J]. 电气化铁道, 2019, 030(003):94-96.
- [3] 张涛, 程结园. 智能安全帽工地管理系统[J]. 物联网技术, 2014, 000(001):89-91.
- [4] 孙继平. 煤矿安全监控系统联网技术研究[J]. 煤炭学报, 2009(11):108-111.
- [5] 孙继平. 煤矿安全生产监控与通信技术[J]. 煤炭学报, 2010, 035(011):1925-1929.
- [6] 余俊, 张玉兴. 智能型安全带和安全帽结构功能设计开发研究[C]// 第七届全国钢结构工程技术交流会. 0.
- [7] 哈尔滨大同瑞特网络有限公司, 一种智能式矿工安全帽的制作方法: 中国, 106690625. A. 2017-05-24
- [8] 西安智盛锐芯半导体科技有限公司, 智能矿井安全帽: 中国, 109892732. A. 2019-06-18