

一种基于综采工作面生产的门禁系统设计

赵哲钰, 海楠

北京天玛智控科技股份有限公司, 北京

收稿日期: 2025年1月6日; 录用日期: 2025年2月12日; 发布日期: 2025年3月13日

摘要

针对煤矿综采作业中采煤机切割三角煤时因煤块飞溅至两巷而出现的安全问题, 本文设计了一款高度集成且实用性强的门禁控制系统。该系统结合视觉与听觉两种警示手段, 在采煤机进入三角煤区作业时迅速向工作人员发出撤离指示, 以降低潜在的人身伤害风险。此系统基于网络型控制器设计模式, 依托井下监控及通信基础设施, 无缝接入现有网络, 从而精确展示包括门禁状态和人员位置在内的各类安全信息。同时, 通过数据分析与异常报警, 系统在门禁故障或人员异常时可即时发送警报, 以实现门禁的及时响应、远程监控与数据反馈。该门禁系统安装与维护简便, 无需对综采工作面实施大规模改造即可投入使用, 其高效可靠的性能为保障矿井安全生产提供了有力保障, 也展现了技术创新在提高煤矿开采安全性上的巨大潜力。

关键词

三角煤, 门禁系统, 煤矿自动化, 综采工作面控制器

The Design of Access Control System Based on Fully Mechanized Mining Face Production

Zheyu Zhao, Nan Hai

Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Jan. 6th, 2025; accepted: Feb. 12th, 2025; published: Mar. 13th, 2025

Abstract

For the hidden danger of coal splashing into two lanes when shearer cuts triangle coal in fully mechanized coal mining operation, this paper designs an access control system with high integration and strong practicability. The system combines visual and auditory double warning mechanism to remind the staff to evacuate quickly when the shearer enters the triangle coal area, so as to effectively reduce the risk of personal injury. Based on the design mode of network controller and relying on

underground monitoring and communication facilities, it seamlessly accesses the existing network, thus accurately displaying security information such as access control and personnel status. At the same time, through data analysis and abnormal alarm, the system can send an alarm immediately when the access control fails or the personnel are abnormal, so as to realize timely response, remote monitoring and data feedback of access control. The access control system is easy to install and maintain, which can be quickly deployed and used without large-scale transformation of fully mechanized mining face. Its efficient and reliable performance provides a strong guarantee for coal mine safety production, and also shows the great potential of technological innovation in improving coal mine operation safety.

Keywords

Triangular Coal, Access Control System, Coal Mine Automation, Fully Mechanized Mining Face Controller

Copyright © 2025 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

随着全球能源结构的转型和科技的飞速发展,煤炭行业正逐步向智能化、自动化转型[1][2],旨在提高生产效率、降低运营成本并显著提升作业安全性[3][4]。作为煤矿综采作业中的关键设备,采煤机不仅承载着高效开采煤炭的重任,其作业效能与安全性更是直接关系到矿井的整体运营效益及每一位井下工作者的生命安全[5]。然而,在采煤机执行复杂任务,尤其是切割三角煤区域时,煤块飞溅至两巷成为了一个难以忽视的安全隐患,它不仅可能损坏设备,更可能直接威胁到周边工作人员的人身安全,给煤矿生产带来不可估量的损失[6]。

传统的安全防护措施,如基于人力的警报机制或视觉信号提示,虽在一定程度上发挥了预警作用,但受限于人的反应速度、注意力集中度以及环境因素的不确定性,其效果往往不尽人意,无法全面且即时地应对突发状况[7]。因此,开发一种智能化、集成化的门禁系统,对于提升煤矿作业安全水平具有重要意义[8]。

本文设计的门禁系统正是在这一背景下应运而生。该系统通过集成读卡器、报警与急停装置、开锁装置等多种功能性单元,结合智能化管理手段,实现了对采煤机作业区域的实时监控、人员身份验证以及在突发状况下的迅速响应等目标。同时,该系统充分考虑了井下已有通信基础设施的兼容性问题,以基于鸿蒙系统的网络型控制器为标准,通过标准化接口协议和灵活的组网方式,实现了与井下现有系统的无缝对接。这一设计不仅避免了反复改造工作面而造成的资源浪费,还使该门禁系统能够准确且实时地获取井下环境参数、人员信息等关键数据,为煤矿管理提供了全面、准确的决策依据,让煤矿安全管理变得更加直观高效。

2. 门禁系统架构设计

本系统是基于现代物联网技术构建的综合性门禁管理系统,系统基于物联网感知层、网络层和应用层结构[9][10],通过精细化的位置与功能划分,实现了从井下到井上的全方位监控与调控,确保了人员、设备及环境的安全协调运作[11]。门禁系统具体的设计架构如图1所示。

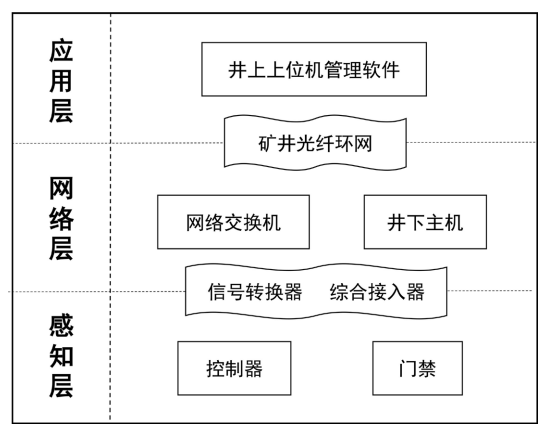


Figure 1. Design framework of access control system
图 1. 门禁系统设计架构

其中，感知层作为系统的最前端，主要由井下门禁装置构成。这些装置直接部署于综采工作面的三角煤区及其两侧的巷道，利用综采工作面现有控制器，传感器、摄像仪以及门禁上的电磁锁、读卡器、声光警示单元及报警与急停装置等器件实时感知现场环境状态，并做出及时反应。

网络层作为数据传输的桥梁，负责将感知层收集到的海量数据实时、准确地传输至井上的上位机管理软件[12]。该层借助高速、稳定的工业级数据传输网络，以确保数据在复杂多变的矿井环境中也能保持高效传输。

应用层是整个系统的核心控制与处理中心，主要由井上的上位机管理软件构成，具备智能的数据处理能力、逻辑判断能力及可视化操作界面，能够接收并解析来自网络层的数据，实现对井下门禁装置的实时操控、远程监控与智能管理。管理员可通过软件界面直观查看各门禁点的实时状态、人员情况等信息，并可根据需要对门禁策略进行灵活调整，如设置权限等级、定义进出时间、发送紧急指令等。

综上所述，本系统通过感知层、网络层和应用层的紧密协作，构建了一个高效、智能、安全的门禁管理体系，在设计与技术层面为矿井安全与人员管理提供了坚实保障。

3. 门禁系统详细设计

本门禁系统的详细设计包括硬件设计与软件设计两部分。硬件方面，除了详细描述门禁装置本身的构造外，本文还说明了井下门禁功能的控制动线，以确保系统的物理布局与功能实现紧密配合。软件部分则从软件架构，功能与相关数据库设计的层面进行阐述，旨在确保门禁系统的智能化管理和高效运行。

3.1. 硬件设计

考虑到井下环境，门禁系统硬件的设计与部署显得尤为关键。该系统在硬件层面精心构建，确保了在复杂环境下的稳定性和可靠性，也在功能上全面覆盖了智能控制、人员识别、紧急响应等多个维度。

3.1.1. 门禁装置硬件结构

门禁装置的主视图如图 2 所示。其主体由两个坚固耐用的箱体构成，每个箱体下方都配备了长防滑底座，这些底座通过可调节的转轮相连与箱体连接，使得整个门禁系统能够根据巷道的实际坡度灵活调整角度，确保门禁装置在常见倾斜状态下都能稳固站立。具体而言，工作人员可以通过调节箱内内侧的角度调杆调节转轮的旋转幅度，从而精确控制长防滑底座与水平面之间的夹角，以适应工作面走向方向上的不同倾角。

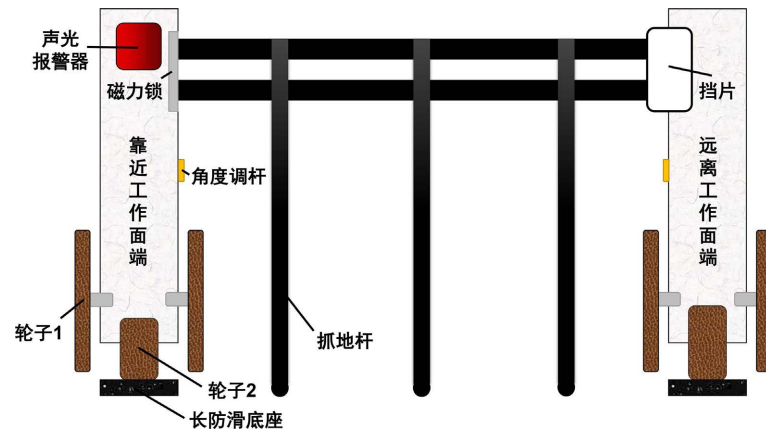


Figure 2. Front view of access control device
图 2. 门禁装置的主视图

考虑到门禁装置需要随着工作面设备的前进而移动，以及矿井地面的不平整和湿滑情况，系统还配备了两组高稳固性的滚轮，它们安装在箱体的两侧，在门禁固定时上移至空中，在门禁挪动时下放至地面，以确保门禁在移动过程中能够平稳、顺畅地前行。

门禁的拦阻体部分由两根横杆和三根抓地竖杆组成，抓地竖杆的底部设计为半球形，以增加与地面的接触面积与摩擦力，使得拦阻体在受到坡度影响或外力冲击时能够保持稳定，不易倾倒。

在靠近工作面的方向，箱体与阻挡杆同高度的地方配备了磁力锁，作为一种通过电磁原理工作的装置，该门锁由一个电磁线圈和一块永磁铁组成，通过电流控制磁场的产生与消失，从而实现对拦阻体的快速锁定与解锁。

在远离工作面的箱体上，设置了两副挡片作为辅助安全措施。这些挡片能够在巷道存在倾角时有效限制住档杆的摆动范围，防止其因过度摆动而失效。

声光报警器作为必不可少的安全警示装置，安装在靠近工作面的箱体上。该声光报警器会在采煤机进入三角煤区域时亮起高亮度、长寿命的 LED 闪光灯，同时清晰响亮的语音播报器会发出预设的警示语音，迅速吸引周围工作人员的注意，提醒其避让。

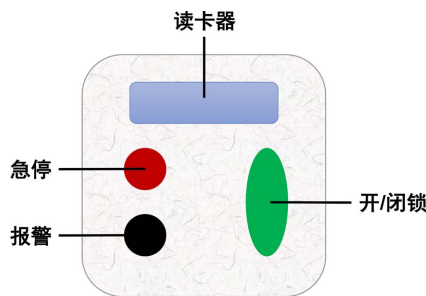


Figure 3. Top view of access control box near mining face
图 3. 靠近工作面端门禁箱体俯视图

此外，如图 3 所示，该系统还配备了如读卡器与开闭锁按钮等智能组件。读卡器可对进入门禁人员的身份、进出时间等安全信息进行读取与记录；而开闭锁按钮则允许工作人员根据实际需要手动调节门禁开关状态，从而提升整个系统的可控性和操作便捷性。

为确保能够有效应对井下突发状况，该门禁系统还装有急停与报警旋钮。当旋转急停旋钮时，井下设备将即刻停止运行；而旋转报警按钮则会将报警信息传送至监控中心及井上相关部门。

3.1.2. 工作面配合硬件

为了进一步优化综采工作面的安装与运维流程，降低操作复杂性和成本，该系统考虑了工作面现有设备的兼容性与集成性。硬件配合示意图如图 4 所示。

在供电方面，门禁系统利用了井下已部署的电源箱作为能源供应，确保了供电的稳定性和安全性。针对不同类型的控制器环境，门禁系统采取了灵活多样的定位策略。对于使用网络型控制器的综采工作面，门禁系统可利用工作面环网的强大通信能力，实时获取采煤机的位置信息，实现精准定位。而对于使用 26 功能控制器的工作面，门禁系统则还可通过解析液压支架上红外接收器所收到的来红外信号来定位采煤机[13] [14]。

在控制指令传输的过程中，门禁系统同样拥有高度的适应性。根据控制器类型的不同，系统提供了两种主要的信息传输方式：对于需要综合接入器的工作面，门禁系统会先将控制信号发送至综合接入器，再由后者将信号转达给目标控制器，反之亦然；而对于支持直连控制器的工作面，则能够实现控制器与门禁系统之间的即时双向通信。

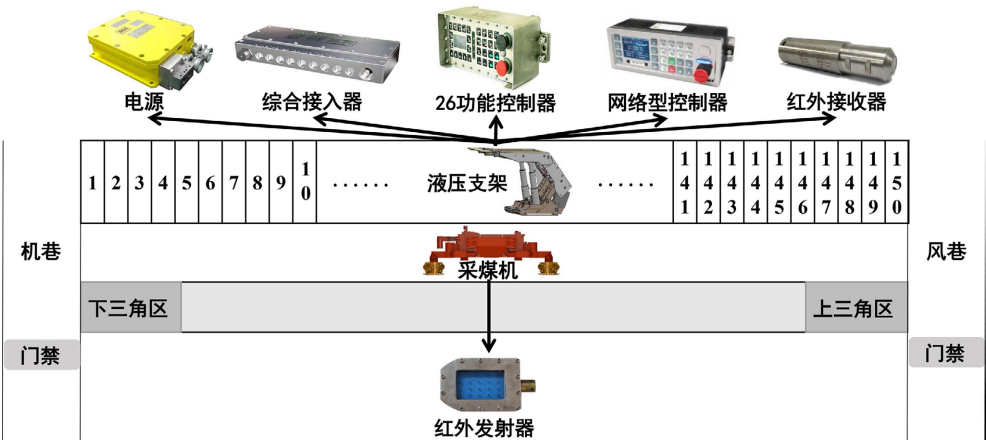


Figure 4. Schematic diagram of mining face matching hardware
图 4. 工作面配合硬件示意图

3.2. 软件设计

本门禁系统软件设计旨在为煤矿综采作业中的三角煤切割区域提供高度集成、智能化的安全管理解决方案。通过融合视觉与听觉双重警示机制，结合井下控制器所管理的网络与通讯基础设施，构建起一套全面、多层的安全保障体系。系统中。同时，该系统注重易用性和可维护性，即每个模块均具备独立的功能和接口，以便根据煤矿的实际需求进行灵活配置，并通过直观的操作界面和完善的文档支持降低了系统管理复杂度，提高了整体运行效率。

3.2.1. 软件设计架构

如图 5，系统基于 C/S(客户端/服务器)架构模式构建，确保了数据的集中管理和分散控制[15]-[17]。井上上位机管理软件作为客户端，负责提供用户交互界面、数据处理与分析、决策支持等功能；而井下门禁控制单元则作为服务器端，负责执行具体的门禁控制、数据采集与传输等任务。两者通过井下网络层实现数据的实时传输与交互。

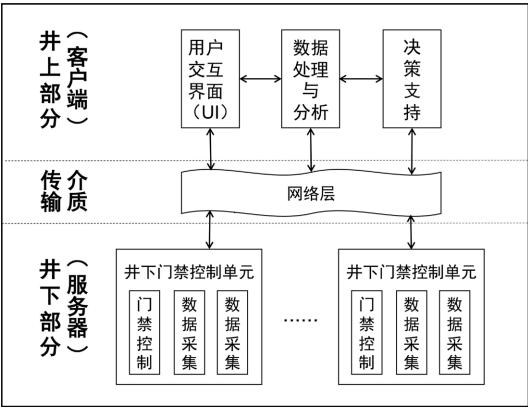


Figure 5. Software design framework of access control system
图 5. 门禁系统软件设计架构

在通信协议方面，系统采用 Modbus TCP/IP [18]，确保与井下现有监控与通讯系统的无缝对接。在数据传输方面，利用井下光纤环网或无线通信技术，实现门禁控制单元与上位机管理软件之间的高速、稳定数据传输。

3.2.2. 软件功能模块

软件的功能设计聚焦于两大方面：安全性与实用性。为了确保系统的稳固与安全，本系统设计了登录模块以及权限管理模块，通过严格的身份验证和权限划分，有效防止未经授权的访问和操作，从而保障了系统和用户数据的安全。

系统的登录模块如图 6 所示，在登录门禁系统时需选择自己的身份类别并输入对应的账号密码，三项内容必须完全匹配才可登录系统并获得相应的系统查看和操作权限。



Figure 6. Login interface of access control management system
图 6. 门禁管理系统登录界面

该门禁管理系统将用户分为三个身份登记：高级管理员、管理员与操作员。如图 7 所示，门禁系统的“权限管理”界面展示了不同身份对应的权限状态。同时，高级管理员可对不同成员的权限进行调整，在保证系统安全性的基础上提升了系统的灵活性。

软件的实用性功能体现在诸多层面，如图 8 所示，其核心功能涵盖门禁控制、实时监控、应急处理、数据分析以及系统设置等模块。其中，门禁控制模块支持远程操控与集中化管理，可分配权限并记录日志，方便后续审计与追溯；实时监控模块全面追踪采煤机和井下人员的信息，设有预警功能以提升作业安全性；预警与应急处理模块能在紧急情况下通过多种方式发出预警，且允许管理员发送急停与报警指

令，保护人员安全；数据分析与报表模块可生成门禁使用、人员动态及报警事件等统计报表，为管理决策提供数据支持；系统设置与配置模块则允许管理员根据实际需求灵活配置门禁系统，满足多样化需求。



Figure 7. Authority management interface of access control management system
图 7. 门禁管理系统权限管理界面



Figure 8. Home interface of access control management system
图 8. 门禁管理系统门禁首页界面

3.2.3. 数据库设计

作为对系统在数据方面的需求分析与总结，本系统需要处理的两个核心数据库：持卡用户信息库和门禁进入人员信息库。其中，作为系统识别用户身份与分配权限的重要依据，持卡用户信息库包括如用户姓名、卡号、权限等级等关键字段，以存储所有持卡用户的基本信息。同时，为了追踪每次门禁操作的具体情况，门禁进入人员信息库记录了每次门禁操作的相关信息，如操作时间、门禁点位置、通行人员信息等。

基于这两个数据库，本系统设计了相应的数据表结构，具体如表 1 和表 2 所示。

Table 1. Profile information table of card user

表 1. 持卡用户信息表

名	类型	长度	是否取空	主键	说明
cn	varchar	255	否	是	卡号
name	varchar	255	否		姓名
team	varchar	255	否		队伍
limit	varchar	255	否		权限

Table 2. Information table of enter person
表 2. 进入人员信息表

名	类型	长度	是否取空	主键	说明
time	varchar	255	否		时间
location	varchar	255	否		位置
team	varchar	255	否		队伍
name	varchar	255	否		姓名
cn	varchar	255	否	是	卡号
limit	varchar	255	否		权限

4. 门禁系统功能设计

本门禁系统在不额外增加综采工作面设备的条件下，通过判断采煤机位置并对设置在风机两巷的门禁下发指令，并在人员进入门禁后将人员信息传至上位机。同时，该系统允许工作人员在两巷的门禁设备处与井上客户端分别对门禁系统进行控制，最终确保工作人员不会在采煤机位于机头或机尾工作时进入工作面，避免危险。其功能实现环节如图 9 所示。

对于井下综采工作面与门禁装置的自动控制工作，第一步是确认采煤机工作位置。如果当前综采工作面选用 26 功能控制器，则要通过液压支架上控制器的红外接收器接收来自采煤机上红外发射器的红外信号来判断煤机位置；如果选用网络型控制器，则可直接通过环网判断采煤机位置。

随后，系统需判断采煤机是否在三角煤区域工作。一般情况下，采煤机横跨长度约为 10 个支架的宽度，煤壁两边(机头机尾)的三角煤长度设置为 25 个支架的宽度。因此，当煤机位置判断为在 31 号支架或 120 号支架时，工作面将对门禁下发指令。对于不同配置的工作面，只需再次计算安全架号，即需向门禁下发指令时的支架号即可。安全架号计算公式如下：

上三角区：

$$\text{安全架号} = \text{工作面最大架号} - \lceil (\text{采煤机长度}/2 + \text{三角区长度}) / \text{支架宽度} \rceil \quad (1)$$

下三角区：

$$\text{安全架号} = \lceil (\text{采煤机长度}/2 + \text{三角区长度}) / \text{支架宽度} \rceil + 1 \quad (2)$$

接着，上位机或控制器向门禁发送指令。对于 26 功能控制器，可选择直接由位于 31 号支架或 120 号支架的控制器分别对机巷或风巷的门禁下发指令；也可以通过综合接入器连接上位机，再通过上位机控制门禁。对于网络型控制器，则可在确认采煤机位置后直接通过上位机向对应门禁发送指令。门禁在接收到指令后，即可根据指令进行动作。

此外，在人工控制方面，当工作人员直接通过井下门禁装置进行操作时，系统能够即刻响应，迅速执行开锁、急停及报警这三大核心任务，以保证系统对现场情况的即时掌控能力。若是在井上的门禁管理软件中进行操作，则除了与综采工作面及门禁装置实现联动以确保作业流程的顺畅与安全外，井上管理软件还提供了统计报表与配置系统的功能，以适应不同的作业场景与安全管理要求，实现更精准与灵活的安全管理。

5. 门禁系统功能测试

5.1. 测试环境

为确认该门禁系统功能正常，本文配置了如图 10 所示的硬件环境。其中，若干个网络型控制器相连

接，以模拟综采工作面[19]；发送指令的控制器连接集成了 RFID 读卡器、磁吸、闪光灯、蜂鸣器、开锁按键、急停旋钮和报警旋钮的单片机，该单片机模拟井下门禁；与其连接电脑则代表井上上位机。

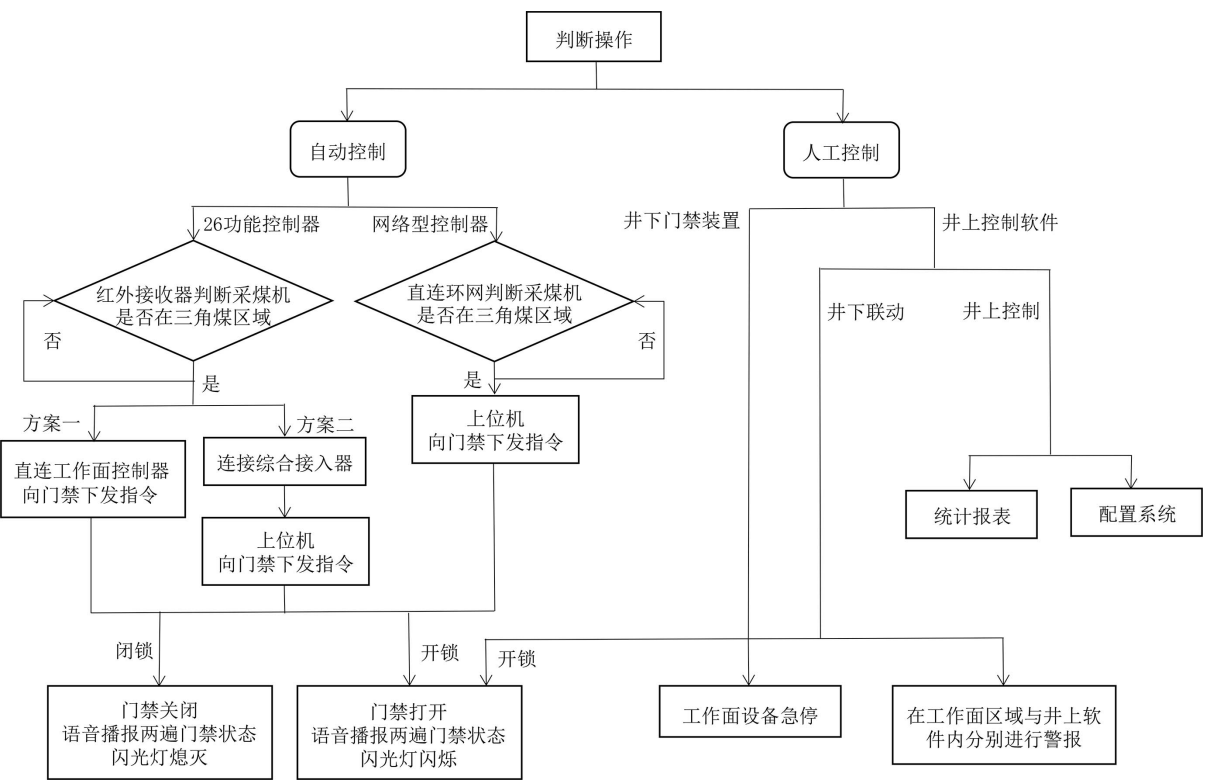


Figure 9. Hardware environment for access control system test
图 9. 门禁系统功能实现流程

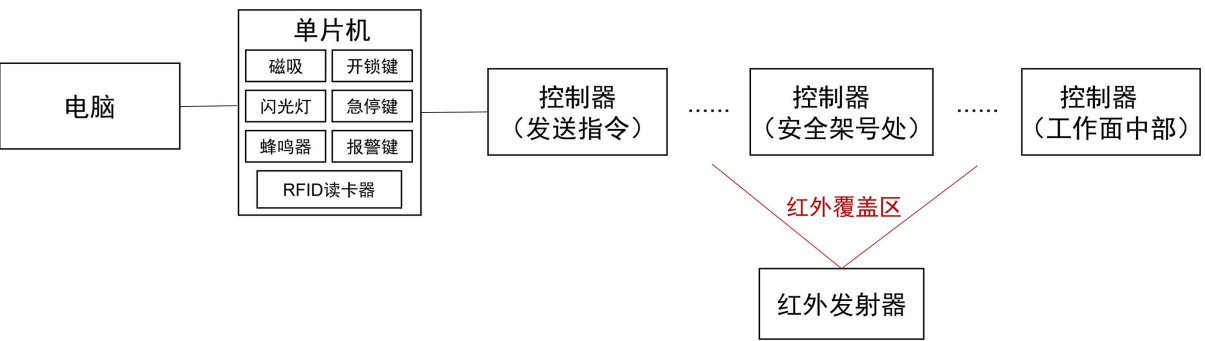


Figure 10. Function implementation process of access control system
图 10. 门禁系统功能测试硬件环境

5.2. 功能测试

首先，使用红外发射器发送红外信号，当被设置为安全架号的控制器上所集成的红外接收器收到红外信号后，负责发送指令的控制器向单片机传递信息，单片机做出如闪光灯闪烁，蜂鸣器呼叫等响应。

其次，单片机上的开锁键、急停键和报警键可分别对自身进行控制；在单片机读卡器上使用不同的 RFID 卡片，电脑应当接收并统计刷卡卡片的信息。

最后，在电脑(上位机)处也可对单片机进行开锁、急停和报警的操作。此外，上位机在记录刷卡信息的同时可对卡片信息进行修改。

具体的测试内容与结果如表 3 所示。

Table 3. Test results of access control system function
表 3. 门禁系统功能测试结果

序号	测试项目	操作描述	预期结果	结果
1	工作面控制器 控制门禁装备	将红外信号覆盖到安全架号处的控制器	磁吸打开 蜂鸣器呼叫 闪光灯闪烁	通过
2		使用单片机上的开锁键	磁吸打开 蜂鸣器呼叫 闪光灯闪烁	通过
3		使用单片机上的急停键	控制器显示急停	通过
4		使用单片机上的报警键	上位机显示报警 蜂鸣器呼叫	通过
5	上位机控制门禁装置	在上位机上使用开锁功能	磁吸打开 蜂鸣器呼叫 闪光灯闪烁	通过
6		在上位机上使用急停功能	控制器显示急停	通过
7		在上位机上使用报警功能	上位机显示报警 蜂鸣器呼叫	通过
8	上位机处理信息	在单片机上刷卡	上位机记录刷卡信息	通过
9		在上位机上查询门禁使用信息	门禁使用信息查询成功	通过
10		在上位机上增删改查人员卡片信息	卡片信息修改成功	通过

6. 结论

本文围绕煤矿综采作业中采煤机切割三角煤时煤块飞溅至两巷的安全隐患，提出并实现了一种集智能化与高效性于一体的门禁管理系统。通过研究与实践，该系统实现了对三角煤区域的即时监控与高效响应，显著提升了煤矿作业区域的安全管理水平，也丰富了智能化、自动化在煤矿行业的应用场景。

相较于以往的研究成果，本文设计的门禁系统在智能性和集成度上取得了显著进展。传统的安全防护措施多依赖于人工操作和单一警示手段，而本系统则通过融合视觉与听觉警示、集成读卡器、报警与急停装置、开锁装置等多元化功能模块，构建了一个全方位、多层次的安全管理体系。此外，本系统还十分注重与井下现有通讯基础设施的兼容性，以基于鸿蒙系统的网络型控制器为参考，实现了与现有系统的无缝对接，避免了资源浪费和重复建设。

然而，尽管本设计充分考虑了井下复杂环境所带来的挑战，但在实际应用中仍面临一些潜在问题，如极端环境条件下硬件设备的耐用性、井下通讯信号的稳定性等。

针对上述问题，未来的研究可从以下几个方面展开：一是进一步优化门禁系统的硬件设计，提高设备在极端环境下的耐用性和稳定性；二是探索如何将人工智能技术融入到门禁管理系统中，以实现更高水平的安全管理和自动化操作；三是进行广泛的现场试验与应用验证，不断完善和优化系统性能，以满足煤矿行业日益复杂的安全管理需求。

参考文献

- [1] 王国法. 煤炭产业数字化转型和智能化建设支撑新质生产力发展[J]. 中国煤炭工业, 2024(6): 6-9.
- [2] 王国法, 孟令宇. 煤矿智能化及其技术装备发展[J]. 中国煤炭, 2023, 49(7): 1-13.
- [3] 王国法, 范京道, 徐亚军, 等. 煤炭智能化开采关键技术创新进展与展望[J]. 工矿自动化, 2018, 44(2): 5-12.
- [4] 王海军, 曹云, 王洪磊. 煤矿智能化关键技术研究与实践[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 44-54.
- [5] 朱信平. 大功率智能化采煤机液压调高系统的设计与应用[J]. 煤炭工程, 2020, 52(7): 187-190.
- [6] 王瑞军, 崔志芳. 煤与瓦斯突出矿井综采工作面自动截割三角煤技术的研究与应用[J]. 机械管理开发, 2016, 31(12): 74-76.
- [7] 劳晓贤, 钱程, 李春光. 预警系统中的智能方法综述[J]. 信号处理, 2023, 39(11): 1919-1932.
- [8] 王峰, 刘清, 白正平, 等. 煤矿无人化智能开采控制技术装备与应用示范[J]. 智能矿山, 2024, 5(3): 12-15.
- [9] 陈慧颖, 陈砚欣. 港口门机智能门禁系统[J]. 港口科技, 2024(1): 5-13.
- [10] 韦升文. 物联网技术在智能门禁系统中的应用分析[J]. 科技创新与生产力, 2020(1): 67-69.
- [11] 黄曾华, 王峰, 张守祥. 智能化采煤系统架构及关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 1959-1972.
- [12] 鄢传远. 基于物联网的智能楼宇三层架构安防监控系统设计[J]. 新型工业化, 2019, 9(11): 55-58.
- [13] 李家黎, 李子豪. 基于 C/S 架构的儿童早教机器人自动控制系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2022(10): 187-191.
- [14] 裴新宇. 薄煤层采煤机自动化开采技术研究[J]. 西部探矿工程, 2017, 29(10): 123-124+128.
- [15] 张斌, 方新秋, 邹永滔, 等. 基于陀螺仪和里程计的无人工作面采煤机自主定位系统[J]. 矿山机械, 2010, 38(9): 10-13.
- [16] 李训栋, 崔琦, 陈豪. 基于 C/S 架构的医院信息管理系统优化设计[J]. 电子技术与软件工程, 2022(17): 173-177.
- [17] 杨舟, 赵曦, 张捷, 等. 基于 C/S 与 B/S 融合架构的公安装备管理系统设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(3): 106-108.
- [18] Yan, S.Y. (2004) Application and Research on Cryptography of Guard Against Theft. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, **18**, 203-245.
- [19] 张文杰, 宋建成, 田慕琴, 等. 液压支架运行状态分级监测系统研制[J]. 工矿自动化, 2017, 43(7): 12-17.