 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5322

Research and application of “electronic fence” in Balasul coal mine

Wei Feng Liming Chen Jianqiang Liang Xin Li Jiang Liu

Balasu Coal Mine, Yuyang District, Yulin City, Shaanxi Province, Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

The underground mine personnel-machine collision prevention system, commonly known as the “electronic fence,” is key to addressing safety issues in complex underground environments. By integrating advanced technologies such as UWB precise positioning and AI intelligent video, it achieves monitoring of personnel and equipment locations, hazard prediction and alarm, and equipment locking control in hazardous areas. This paper delves into the design principles, architecture, functions, and technical parameters of the system, compares its advantages and disadvantages with similar technologies both domestically and internationally, and elaborates on the system’s innovative points and practical application effects. The system effectively reduces the risk of human-machine collisions, enhances safety management levels in coal mines, and offers significant social and economic benefits, providing strong technical support for the intelligent construction of coal mines.

Keywords

AI intelligent video; man-machine collision prevention system; UWB precise positioning; dynamic time slot protocol mechanism

巴拉素煤矿井下“电子围栏”的研究与应用

冯炜 陈立明 梁建强 李鑫 刘江

陕西榆林榆阳区巴拉素煤矿，中国 · 陕西 榆林 719000

摘 要

煤矿井下人机防碰撞系统也就是人们口中所说的“电子围栏”，该系统是解决井下复杂环境下人机安全问题的关键。通过综合运用UWB精确定位、AI智能视频等先进技术，实现对井下危险区域的人员和设备位置监测、危险预判报警及装备闭锁控制。本文深入探讨了系统的设计原则、架构、功能、技术参数等内容，对比分析了与国内外同类技术的优劣，详细阐述了系统的创新点和实际应用效果。该系统能有效降低人机碰撞风险，提高煤矿安全生产管理水平，具有显著的社会和经济效益，为煤矿智能化建设提供了有力的技术支撑。

关键词

AI智能视频；人机防碰撞系统；UWB精确定位；动态时隙协议机制

1 引言

随着煤矿自动化技术的飞速发展，大型装备如连续采煤机、掘锚一体机等在井下采掘工作面的广泛应用，极大地提高了煤矿生产效率。然而，井下作业环境恶劣，空间狭小、光线不足、噪声大且粉尘多，操作人员视线和听力受限，大型装备作业时极易引发碰撞、挤压等事故，严重威胁着矿工的生命安全和煤矿的安全生产。

国内外厂家在人机防碰撞探测技术方面进行了诸多探索，主要包括雷达探测技术、视频摄像智能分析技术、RFID 或蓝牙定位技术、电磁探测技术以及 UWB 精确定位技术等。但这些技术各自存在局限性，如雷达和视频摄像智能分析技术在昏暗粉尘环境中效果不佳，电磁探测和 RFID 技术探测距离有限等。因此，开发一种适用于井下复杂环境的人机防碰撞系统具有重要的现实意义。

【作者简介】冯炜（1982–），男，中国安徽淮南人，硕士，工程师，从事煤矿信息化、智能化管理研究。

2 系统功能设计

2.1 目标与需求

采用国内领先的 UWB 精确定位、AI 智能视频等技术。UWB 精确定位技术具有低功耗、抗干扰能力强、覆盖距离大、定位精度高等优点，能够在井下复杂环境中实现精确的人机位置监测。AI 智能视频技术则可以对重点区域的视频监控数据进行智能分析，预判危险情况。实现对煤矿井下危险区域的人机位置精确监测，提前预判危险并报警，主动控制装备闭锁，避免事故发生。同时，将报警日志和相关视频资料上传到地面数据库备份，为安全警示和违规作业回溯提供依据。

2.2 系统架构与设计

系统由一主多从结构的KJ69J - D5读卡器、车辆定位卡、

人员定位卡、信息化矿灯、声光报警器、通信信号装置主机、远程控制开关、红外热像仪（或摄像仪）、本安电源、闭锁控制装置，以及监控中心设备、传输网络和前端设备组成。

KJ69J - D5 读卡器用于和各类型定位卡进行精确定位，并通过与其他设备的连接实现语音报警、远距离控制、数据上传等功能。

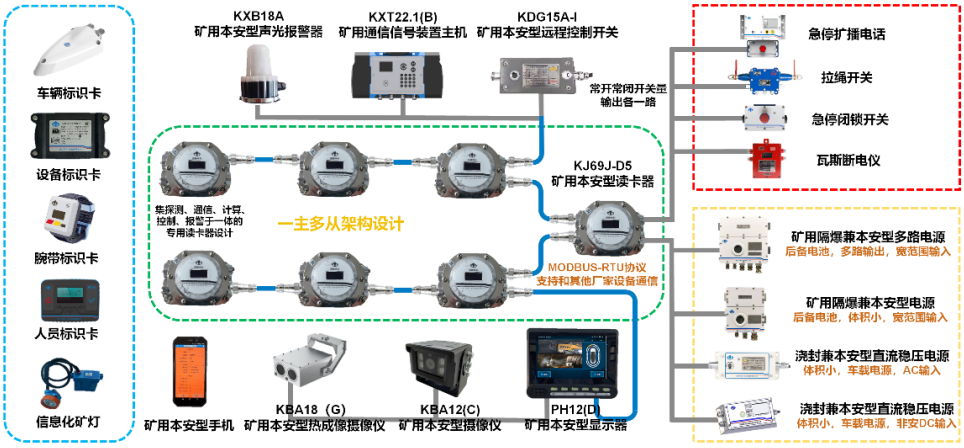

图 1 系统架构图

设计思路遵从以下原则：

（1）架构合理：系统架构设计充分考虑井下复杂环境和实际应用需求，采用一主多从结构的 KJ69J - D5 读卡器等设备，确保系统的稳定性和可靠性。

（2）安全可靠：以保障井下安全生产为出发点，通过先进的技术和算法，提高系统的危险预判和报警能力，确保在危险情况下能够及时控制装备闭锁。

（3）先进高效：采用多读卡器综合定位方法，结合动态时隙协议机制和轨迹平滑算法，在保障危险闭锁成功率的同时大大降低误触发概率，提高系统的响应速度和准确性。

（4）成本节约：依靠专为电子围栏设计的集合探测、计算、控制、报警为一体的读卡器设计，最大程度地简化系统架构，为煤矿节约了成本。

2.3 系统功能实现

停机控制功能：启机时，若停机区域存在作业人员，设备不允许启机；作业时，作业人员闯入停机区域，设备主动停机。

双向报警功能：危险和警报区域存在人员时，系统会发出双向报警，即机车端读卡器进行声光报警，同时危险区域人员所携带的标识卡或矿灯也会有报警提示。

白名单功能：可以通过手机 APP 将本机操作人员、检修人员加入本车的白名单中，白名单成员不触发本机的报警和停机。

司机检测功能：通过手机 APP 设置驾驶室区域范围，人员进入驾驶室范围被系统认为是本机司机，该人员不再触发本机的报警和停机，还可设置司机离岗闭锁。

系统旁路功能：装备检修或系统故障时，可以在手机 APP 中关闭系统，保障生产作业。

手机 APP 控制功能：可以通过手机 APP 连接读卡器，实现配置参数、编辑语音内容、更改白名单等功能。

语音报警功能：连接声光报警器或广播后，人员进入停机区和预警区可以播报语音，不同区域语音播报内容可分开设置。

数据上传功能：可通过 UWB、WIFI 等方式无线连接井下定位通信基站，将数据上传至地面调度中心。

视频显示功能：红外热像仪 (或摄像仪) 可以连接显示器，让司机在驾驶室观察到装备盲区影像。

3 系统应用

3.1 系统应用地点

系统适用于多种井下作业地点，包括掘进工作面的各类装备、给料破碎机、连运头车、矿井主运输和采区带式输送机驱动部分和机尾滚筒、溜煤眼或煤仓上、下口、密闭墙、采煤工作面转载机等。

3.2 系统实施

3.2.1 掘进工作面装备方案

在掘进装备、锚护装备、辅助作业装备上安装 KJ69J - D5 读卡器，人员佩戴标识卡或信息化矿灯。通过读卡器与人员携带的定位设备进行测距，结合预设的报警和危险距离进行本地计算分析预判。现场人员进入报警区域时，读卡器自带声光报警；进入危险区域时，控制装备停机闭锁。同时，在装备司机驾驶室的另一侧安装摄像仪，显示器安装在司机视野范围内，便于司机观察盲区影像。如需上传数据，显示器可通过 4G 或 WIFI 和井下基站进行通信。

3.2.2 固定场所方案

在溜煤眼、煤仓上下口等危险场所安装 KJ69J - D5 读卡器，人员佩戴标识卡或信息化矿灯。同样通过测距和预设距离进行分析预判，实现报警和停机闭锁功能。在固定区域安装具有 AI 智能识别算法的红外热像仪，朝向危险区域范围或出入口，可识别人员越界并报警。热像仪可通过千兆电口或光口接入环网将数据上传到地面服务器。

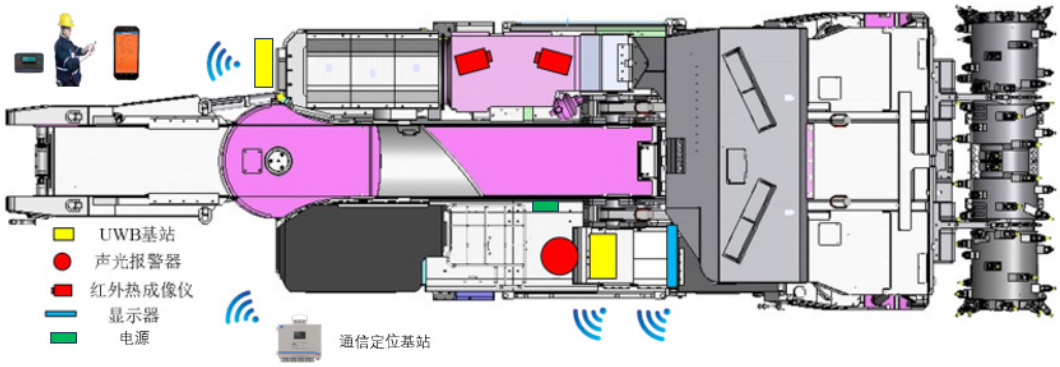

图 2 掘锚一体机设备布置图

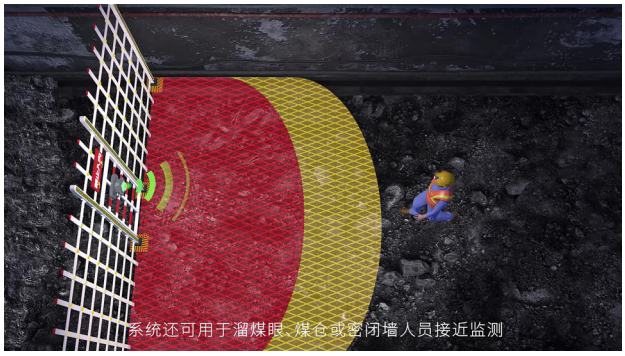

图 3 人员限入信号覆盖范围示意图

4 结论与展望

本矿井下人机防碰撞系统通过先进技术与创新设计，成功解决了井下复杂环境中的人机安全问题，在实际应用中展现出卓越性能与显著成效。该系统在矿井下的应用实现了多种现场应用场景，涵盖掘进装备、锚护装备、辅助作业车辆的人员接近检测及主动拒止，综采面液压支架人员定位及联动闭锁，综采面转载机部分违规翻越报警及自动闭锁，溜煤眼等危险区域人员限入报警等。

针对井下采掘工作面环境恶劣、大型装备安装位置有限的难题，项目组开展了一系列针对性设计与研发工作。设计了小型化、轻量化的信息测控一体装置，此装置集探测、计算、控制、报警等多种功能于一体，能够完美适配井下各种复杂场景的应用需求。同时，为满足客户多样化需求，研制了信息化矿灯、定位标识卡、定位腕卡等穿戴式单兵装备。车载显示装置可让司机在驾驶室清晰观察装备四周人员分布及位置信息，而手持式控制终端则具备远程观察数据、修改配置参数、巡检设备状态等功能，适用于人机遥控作业场景。在产品研制过程中，通过 PCB 堆叠方式充分利用内部空间，在音腔处使用防水膜处理，使整机达到 IP67 防护等级，有效提高了系统的集成度和防护等级。

该系统的核心功能是实现井下人机防碰撞。当井下人员接近作业车辆时，系统会及时发出声光报警信号，在紧急情况下还能控制车辆停机闭锁，这一功能极大地降低了人机碰撞风险，对提高煤矿安全生产管理水平起到了关键作用。从现场应用实施效果来看，人机防碰撞系统具有全方位覆盖井下大型装备四周的能力，人员接近检测误报率极低，在危险情况下主动闭锁响应速度快，系统可靠性高。这些优点使得井下人机作业事故发生率大幅降低，为煤矿安全生产提供了坚实保障。此外，系统触发安全报警数据会自动上传并记录到地面服务器，这些数据为井下人机安全作业教育工作提供了宝贵的素材，有力推动了井下人机安全作业技术的进步。为我矿的安全发展和智能化建设提供了有力的支持。

参考文献

[1] 王小波,张在琛,胡成博,等，一种改进的UWB空间定位方法研究[J].电力工程技术,2018,36(03):72-76.

[2] 孙继平，李晨鑫，基于TOA技术的煤矿井下人员定位精度评价方法[J].煤炭科学技术,2014,42(03):66-68.

[3] 孙继平,冯德旺,郑召文,任锦彪.矩形巷道导波特性的等效传输线法分析[J].煤炭学报,2008,33(12):1438-1441.