

文章编号:1671-251X(2020)01-0032-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17501

矿井广播系统及其在煤矿应急通信中的应用探讨

郑学召^{1,2}, 郭行¹, 郭军^{1,2}, 王宝元¹

(1. 西安科技大学 安全科学与工程学院, 陕西 西安 710054;
2. 国家矿山救援西安研究中心, 陕西 西安 710054)



扫码移动阅读

摘要:介绍了矿井广播系统的发展历程和基于IP技术的矿井广播系统、基于CAN总线的矿井广播系统和基于无线Mesh网络的矿井广播系统的研究现状,分析了3种广播系统的特点:基于IP技术的矿井广播系统实现了从地面调度室向井下工作面可靠而快速地下达紧急通知,但是光缆主要铺设在大巷中,网络覆盖率低,并且使用IP广播需要大量IP空间,而矿井环境复杂,设备布设困难,不易接收信号,抗灾变能力差;基于CAN总线的矿井广播系统具有传输距离远、通信速率快、通信方式灵活、传输稳定等优点,但由于各节点不平等共享总线带宽,会出现多个节点同时竞争总线的情况,影响通信的稳定性和实时性;无线Mesh网络具有可靠性高、覆盖范围广、组网灵活等优点,但由于无线Mesh的多跳机制,随着无线Mesh网络规模的扩大,跳接越来越多,积累的总延迟也越大。指出随着煤炭行业转型升级,煤矿安全生产技术的不断完善,矿井广播系统将朝着提高抗灾变能力、功能多元化、系统智能化和多系统融合化的方向发展;从安全监测、调度指挥、信息传输3个方面总结了矿井广播系统在煤矿应急通信中的应用前景,指出矿井广播系统与人员定位系统结合是未来煤矿调度指挥的典型模式,有线和无线路由自适应功能将极大地提升应急通信系统的抗灾变能力和可靠性。

关键词:矿井广播系统; 煤矿应急通信; 抗灾变能力; 多系统融合; IP网络广播; CAN总线广播; Mesh网络广播

中图分类号:TD655 文献标志码:A

Discussion on mine broadcasting system and its application in coal mine emergency communication

ZHENG Xuezhao^{1,2}, GUO Hang¹, GUO Jun^{1,2}, WANG Baoyuan¹

(1. College of Safety Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Research Center of National Mine Rescue, Xi'an 710054, China)

Abstract: Development history of mine broadcasting system and the research status of mine broadcasting system based on IP technology, mine broadcasting system based on CAN bus, and mine broadcasting system based on wireless Mesh network were introduced. The characteristics of three kinds of broadcasting systems are analyzed. Mine broadcasting system based on IP technology realizes reliable and fast emergency notification from ground dispatching room to underground working surface, but the optical cable is mainly laid in the roadway, network coverage is low, besides, the use of IP broadcasting requires a lot of IP space, and because the mine environment is complex, the equipments are difficult to set up and receive signals, and have poor resistant capability to disaster. Mine broadcasting system based on

收稿日期:2019-08-29;**修回日期:**2019-12-15;**责任编辑:**胡娴。
基金项目:国家重点研发计划重点专项项目(2018YFC0808201);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2018JMJ5009,2018JQ5080)。
作者简介:郑学召(1977—),男,新疆焉耆人,教授,博士,主要从事矿山安全与应急救援方面的教学与科研工作,E-mail:zhengxuezhao@xust.edu.cn。
引用格式:郑学召,郭行,郭军,等. 矿井广播系统及其在煤矿应急通信中的应用探讨[J]. 工矿自动化,2020,46(1):32-37.
ZHENG Xuezhao, GUO Hang, GUO Jun, et al. Discussion on mine broadcasting system and its application in coal mine emergency communication[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(1): 32-37.

CAN bus has the advantages of long transmission distance, fast communication rate, flexible communication method, stable transmission, etc., but because each node unequally shares the bus bandwidth, there will be situations where multiple nodes compete for the bus at the same time which affects stability and real-time performance of communication. Wireless Mesh network has the advantages of high reliability, wide coverage, and flexible networking. However, due to the multi-hop mechanism of the wireless Mesh, as the scale of wireless Mesh network expands, more and more hops are connected, and the total accumulated delay is great. It is pointed out that with the transformation and upgrading of coal industry and the continuous improvement of safe production technology in coal mines, mine broadcasting system will develop in the direction of improving disaster resistance, diversified functions, system intelligence, and multi-system integration; application prospects of mine broadcasting system in coal mine emergency communications is summarized from three aspects of safety monitoring, dispatching command, information transmission, it is pointed out that the combination of mine broadcasting system and personnel positioning system is a typical model of future coal mine dispatching command, adaptive function of wired and wireless routing will greatly improve resistant capability to disaster and reliability of the emergency communication system.

Key words:mine broadcasting system; emergency communication of coal mine; resistant capability to disaster; multi-system integration; IP network broadcast; CAN bus broadcast; Mesh network broadcast

0 引言

2017 年,煤炭在中国能源结构中的占比为 60.4%^[1],以煤、石油、天然气为主的传统化石能源保障了国家经济发展,但是由于地质环境复杂、科技水平限制等多方面因素,使得矿山灾害事故频发,严重危害着煤矿安全生产^[2]。为了提高矿井安全生产保障能力,健全国家应急广播体系运行制度和相关标准规范,国家煤矿安全监察局规定全国煤矿及非煤矿山都必须建立和完善安全避险“六大系统”^[3],完善应急管理程序,推进突发事件应对的制度化、规范化建设。

智慧矿山时代的来临为煤矿安全管理工作带来了新的模式和契机。其中矿井通信系统是煤矿安全生产调度、安全避险和应急救援的重要工具^[4],矿井广播系统是近几年兴起的一种应急调度通信保障系统。矿井发生事故时,矿井广播系统可以及时有效地发出警报,为矿工争取到宝贵时间进行自我救援,并且可以在发生事故后将矿井内的灾情信息精确地发送给地面营救人员,以提高救援成功率^[5]。

目前我国矿山采掘深度不断增加,井下巷道网络及其环境愈加复杂,矿井广播系统在煤矿中的应用不断成熟,但仍存在抗灾变能力差、功能单一、自动化程度低、联动性差等问题^[6-9]。在此背景下,本文简述了矿井广播系统的发展历程,从矿井广播系统的抗灾变能力、功能多元化、系统智能化和多系统融合化 4 个方面分析了矿井广播系统的发展趋势,

最后对矿井广播系统在煤矿应急通信中的应用前景进行了展望。

1 矿井广播系统发展历程

矿井广播系统主要用于矿井安全出现紧急情况时,地面调度中心工作人员利用麦克风,通过设在重点防护区域的大功率、受话半径大的矿用隔爆兼本质安全型音箱,以扩音喊话的方式对现场进行疏散和疏导,迅速下达安全指令^[10]。

矿井广播系统是在公共广播系统的基础上根据煤矿环境的特殊要求加以改进完善发展起来的。公共广播的发展可划分为定压广播、调频广播(有线/无线)和以太网广播 3 个阶段^[11]。

早期矿井广播系统多为模拟音频广播方式,将音频模拟信号升压至 100 V 左右,播放终端对音频信号进行降压处理,驱动音箱播放。定压广播具有成本低、结构简单等特点,但存在音质差、抗干扰能力差、传输距离短、不可寻址等缺陷。调度电话构成比较简单,通常由一个话筒接一个功放,然后连接到井下音箱上,就是最初的矿井广播系统。2007-07-29,河南陕县支建煤矿东风井发生透水事故,造成 22 采区 69 人被困,救援队员通过调度电话及时了解被困人员的位置、人数和状况,为救援提供了准确信息,大大缩短了救援时间^[12]。但由于无法适应煤矿复杂环境,只能单向广播,同时可靠性比较差,各地煤矿安全监察局于 2018 年将最初的这种调度电话列入重点清理对象。随之新的煤矿广播系统研制

成功,以 KT190 广播系统为例,这类广播系统可以实现半双工语音对话,同时采用主副音箱设计,可以实现一对多通信^[13]。近年来,随着煤矿形势的好转以及国家对煤矿安全生产要求的提高,矿井广播系统发展到了新的阶段,目前以 IP 网络广播、CAN 总线广播等数字网络广播为主。这类矿用广播的特点是实现了全双工语音对话,各个音箱间可以对讲,在完善井下广播系统功能的同时,也给矿井日常管理带来了极大的方便,提高了矿井应急能力^[14]。

2 矿井广播系统发展现状

随着煤矿的持续开采,井下环境日益复杂、恶劣,建设智慧矿山,实现煤矿领域的信息化、可视化、智能化、融合化成为当下的研究和发展方向^[15]。矿井广播系统根据传输方式主要分为基于 IP 技术的矿井广播系统、基于 CAN 总线的矿井广播系统和基于无线 Mesh 网络的矿井广播系统。

2.1 基于 IP 技术的矿井广播系统

基于 IP 技术的矿井广播系统由 IP 数字网络主机、IP 广播对讲寻呼话筒、数字网络音频终端、广播分站等组成^[16]。系统利用网络建立数字 IP 广播平台,通过控制 TCP/IP 数据包管理网络数字音频流,利用以太网传输信息。每个终端有其独立的 IP 地址,通过音频解码器将声音转化为 IP 数据,然后使用井下光纤以太环网传输到目标设备,实现井下设备与控制台的互联^[17-18]。基于 IP 技术的矿井广播系统实现了从地面调度室向井下工作面可靠而快速地下达紧急通知,但是光缆主要铺设在大巷中,而井下工作面过于分散,网络覆盖率低,因此,具有一定的局限性。另外,使用 IP 广播需要大量 IP 空间,而矿井环境复杂,设备布设困难,不易接收信号,一旦发生事故,井下通信系统基本处于瘫痪,抗灾变能力差^[19]。

2.2 基于 CAN 总线的矿井广播系统

基于 CAN 总线的矿井广播系统分为井上与井下 2 个部分,井上由广播主机、以太网核心交换机、麦克风和音箱组成,井下由矿用本质安全型广播主站和矿用本质安全型广播分站组成^[20],如图 1 所示。系统将 CAN 总线与以太网相结合,通过以太网实现井上井下音频数据传输,利用双绞线、同轴电缆、光纤实现快速部署。CAN 总线的优势在于其工作方式为主多结构,不同终端可接收相同数据信息,并且具备可靠的错误检测和出错处理功能^[21-22]。与基于 IP 技术的矿井广播系统相比,基于 CAN 总线的矿井广播系统具有传输距离远、通信速

率快、通信方式灵活、传输稳定等优点,但由于各节点不平等共享总线带宽,会出现多个节点同时竞争总线的情况,消息之间的碰撞及低优先级消息的等待时延过长都严重影响了通信的稳定性和实时性^[23]。

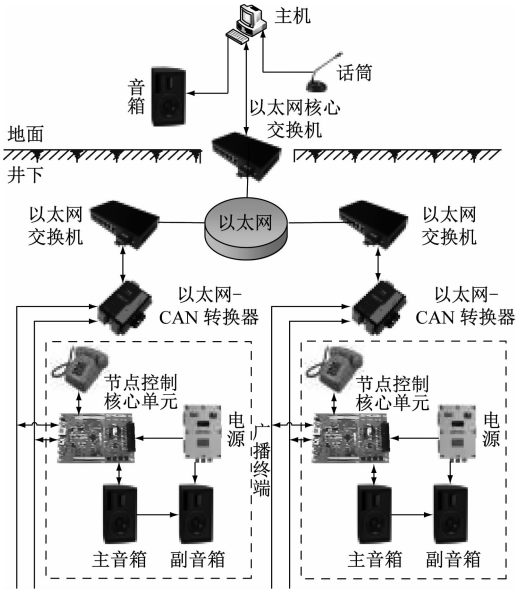


图 1 基于 CAN 总线的矿井广播系统

Fig. 1 Coal mine broadcasting system based on CAN bus

2.3 基于无线 Mesh 网络的矿井广播系统

基于无线 Mesh 网络的矿井广播系统由指挥中心设备、路由网关、传输网络、无线数据终端、无线应急通信基站等组成^[24],如图 2 所示。系统可采用有线与无线相结合的技术和全无线技术组网,前者可实现无线通信基站之间光纤与无线互为备份组网的功能,后者的双链路备份使得其在事故发生后仍可进行通信,系统抗灾变能力强^[25]。无线 Mesh 网络相比于传统无线网络,具有可靠性高、覆盖范围广、

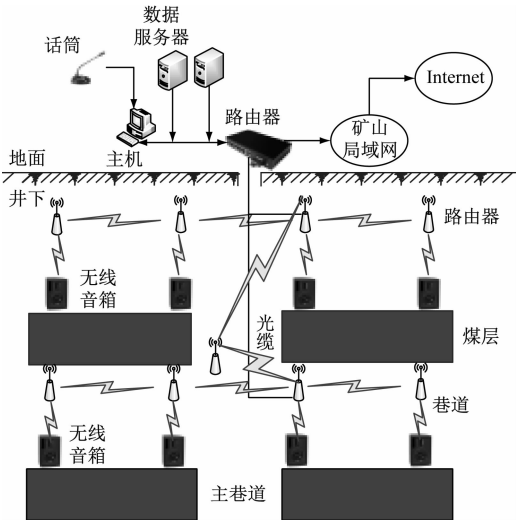


图 2 基于无线 Mesh 网络的矿井广播系统

Fig. 2 Coal mine broadcasting system based on wireless Mesh network

组网灵活等优点,但由于无线 Mesh 的多跳机制,随着无线 Mesh 网络规模的扩大,跳接越来越多,积累的总延迟也越大,只能通过增加 Mesh 节点及合适的网络协议降低网络延迟^[26]。

2.4 对比分析

各类型矿井广播系统性能对比见表 1。

表 1 矿井广播系统性能对比

Table 1 Comparison of performance of mine broadcast systems

传输方式	音质	布线	系统维护	可靠性	传输速率/ (Mbit · s ⁻¹)
IP 技术	好	可用现有设施	方便	一般	10,100
CAN 总线	一般	单独布线	复杂	可靠	<1
Mesh 网络	好	可用现有设施	方便	可靠	10~100

3 矿井广播系统在煤矿应急通信中的应用前景探讨

3.1 矿井广播系统在煤矿应急通信中应用存在的问题

矿井广播系统作为煤矿通信网络系统的重要组成部分,经过国内外研究机构和学者的不断研究改进,取得了长足的发展,但因科技水平等多方面限制,矿井广播系统在煤矿的实际应用仍存在一些亟待解决的问题:

(1) 抗灾变能力弱。现有矿井广播系统抗灾变能力弱,矿井发生事故时,矿井广播系统难以发挥作用,井下基本与地面中断联系。若不能保证事故后矿井广播系统仍能正常运行,将无法获取井下实时情况,地面救援行动亦会特别困难。

(2) 功能单一。当前矿井广播系统的功能主要为分区广播、双向对讲、安全教育等,功能单一,扩展性差,与其他系统匹配程度低,较难实现目前煤矿建设矿山物联网的目标。

(3) 自动化程度低。集成化与自动化是煤矿的发展方向,目前矿井广播系统在发生事故后需要识别后再发出警报,易延误逃生时间。矿井广播系统的通信介质易受损,收发器和控制器也可能出现故障,故障出现后只能人为修复,形成井下盲区和安全隐患。

(4) 联动性差。煤矿各系统设备兼容性低、扩展性差,各系统相互孤立,信息资源共享少,导致生产效率低,降低了煤矿安全应急救援水平,需要完成

多系统的融合与联动。

3.2 矿井广播系统发展趋势

随着煤炭行业转型升级,煤矿安全生产技术不断完善,并朝着稳定化、多功能化、智能化、融合化的方向进步。矿井应急广播系统正在向着抗灾变能力强、抗干扰能力强、安全可靠、多功能化的方向发展,主要体现在以下方面:

(1) 通信系统稳定化。采用基于有线和无线中继双链路,能够保证灾后双向通信,提高系统的稳定性和可靠性,实现有效的信息交流,提高救援效率。

(2) 广播系统智能化。利用大数据技术,提高系统的事故自动判别能力、预警能力,实现自动巡检与故障修复功能,从而提高通信的可靠性,为煤矿生产正常运行提供保障。

(3) 多系统融合化。将目前应用较多的基于 IP 技术的矿井广播系统、基于 CAN 总线的矿井广播系统和模拟广播融合,实现有线、无线一体化通信,同时加强井下各子系统的关联性,使生产系统、广播系统、监控监测系统有机统一又相互独立,提高生产及救援效率。

3.3 矿井广播系统在煤矿应急通信中的应用前景

(1) 安全监测方面。矿井广播系统可以实现与安全监控、综合自动化系统有机融合,共享安全监控、综合自动化系统有关数据,当出现煤与瓦斯突出、设备运行故障等情况时,系统能够自动在特定区域发出安全警报。

(2) 调度指挥方面。矿井广播系统与人员定位系统结合是未来煤矿调度指挥的典型模式。矿井广播系统的分组广播功能和音频远程控制功能之间具有较强的耦合性,而人员定位系统的实时性有助于系统间的实时信息共享。矿井广播系统应用场景:设置电子围栏进行报警管理,确定矿井人员的安全活动范围;当危险情况出现时,系统可以根据区域和人员位置发布撤离、警示等信息。

(3) 信息传输方面。矿井应急广播系统若具有无线和有线路由自适应功能,将会极大地提升系统的抗灾变能力和可靠性,从而改变顶板冒顶、水灾、火灾、瓦斯等事故导致通信中断的现状。

4 结语

以煤矿安全形势和安全建设为背景,简述了矿井广播系统的研究进展,介绍了不同传输方式的矿井广播系统,指出了矿井广播系统在煤矿应急通信应用中存在的问题及发展方向。煤矿信息高速传输网络已基本建成,在保证矿井广播系统传输稳定性

和时效性的基础上,扩展矿井广播系统的功能,推动其智能化发展,加强各系统间的关联性,将提高抗灾变能力,改变事故后通信基本中断的现状,确保煤炭行业安全、高效、经济、绿色发展。

参考文献(References):

[1] 钱伯章,李敏. 能源结构随能源需求增长而持续多样化——2018 年世界能源统计年鉴解读[J]. 中国石油和化工经济分析,2018(8):51-54.
QIAN Bozhang, LI Min. Energy structure continues to diversify as energy demand grows-Interpretation of 2018 world energy statistical yearbook[J]. Economic Analysis of China Petroleum and Chemical Industry, 2018(8):51-54.

[2] 张铎. 超宽带雷达波在煤中传播规律与定位基础研究[D]. 西安:西安科技大学,2018.
ZHANG Duo. Fundamental research on propagation law of ultra-wideband radar wave in coal and localiztion[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology,2018.

[3] 孙继平. 煤矿井下安全避险“六大系统”的作用和配置方案[J]. 工矿自动化,2010,36(11):1-4.
SUN Jiping. Effect and configuration of "six systems" for safe act of rescue of coal mine underground[J]. Industry and Mine Automation,2010,36(11):1-4.

[4] 刘涛. 煤矿“六大系统”中关于监测监控、人员定位、通讯联络系统的概述[J]. 内蒙古煤炭经济,2013(2):151.
LIU Tao. Overview of monitoring and control, personnel positioning, and communication systems in the "six systems" of coal mine[J]. Inner Mongolia Coal Economy,2013(2):151.

[5] 李佳佳. 浅谈煤矿井下安全避险六大系统[J]. 机械管理开发,2016,31(6):134-135.
LI Jiajia. On the six major systems of safety production risk avoidance underground coal mine[J]. Mechanical Management and Development, 2016,31(6):134-135.

[6] 王国法,刘峰,庞义辉,等. 煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心科技支撑[J]. 煤炭学报,2019,44(2):349-357.
WANG Guofa, LIU Feng, PANG Yihui, et al. Coal mine intellectualization: the core technology of high quality development [J]. Journal of China Coal Society,2019,44(2):349-357.

[7] 王国法,赵国瑞,任怀伟. 智慧煤矿与智能化开采关键技术分析[J]. 煤炭学报,2019,44(1):34-41.
WANG Guofa, ZHAO Guorui, REN Huaiwei. Analysis on key technologies of intelligent coal mine and intelligent mining [J]. Journal of China Coal

Society, 2019,44(1):34-41.

[8] 孙继平,钱晓红. 煤矿重特重大事故应急处置与救援技术研究[C]//煤矿自动化与信息化——第 26 届全国煤矿自动化与信息化学术会议暨第 7 届中国煤矿信息化与自动化高层论坛论文集,济南,2017:5-8.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Study on emergency treatment and rescue technology for severe accidents in coal mine [C]//Coal Mine Automation and Informatization-The 26th National Coal Mine Automation and Informatization Conference and the 7th China Coal Mine Informatization and Automation Forum Proceedings, Jinan, 2017: 5-8.

[9] 齐笑笑,郭佑民,齐金平. 煤矿井下安全监控多系统融合方法研究[J]. 工矿自动化,2018,44(12):9-13.
QI Xiaoxiao, GUO Youmin, QI Jinping. Research on underground multi-system fusion method for coal mine safety monitoring and control[J]. Industry and Mine Automation,2018,44(12):9-13.

[10] 魏免. 基于以太网和 CAN 总线的煤矿数字语音广播系统的研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2015.
WEI Mian. Research of coal mine digital voice broadcasting system based on Ethernet and CAN bus [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology,2015.

[11] LI Chiyuan. The research on the fusion technology of wireless LANs and personal area networks for emergency secure in coal mine[J]. Physics Procedia, 2012,24:554-559.

[12] 孙继平,张高敏. 矿井应急通信系统[J]. 工矿自动化,2019,45(8):1-5.
SUN Jiping, ZHANG Gaomin. Mine emergency communication system [J]. Industry and Mine Automation,2019,45(8):1-5.

[13] 郑学召. 矿井救援无线多媒体通信关键技术研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.
ZHENG Xuezhao. Research on key technology of wireless multimedia communication for mine rescue [D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology,2013.

[14] 张百运. 矿用数字网络广播系统研究[D]. 西安:西安科技大学,2016.
ZHANG Baiyun. Research on mine digital network broadcasting system[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology,2016.

[15] 王国法,王虹,任怀伟,等. 智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径[J]. 煤炭学报,2018,43(2):295-305.
WANG Guofa, WANG Hong, REN Huaiwei, et al. 2025 scenarios and development path of intelligent coal mine [J]. Journal of China Coal Society,

2018,43(2):295-305.

[16] 王岩. 煤矿应急救援中融合型应急广播系统的应用[J]. 现代矿业,2018,34(2):118-122.
WANG Yan. Application of integrated emergency broadcast system in the emergency rescue in coal mine[J]. Modern Mining,2018,34(2):118-122.

[17] 陈臻. 煤矿巷道掘进作业智能监测与安全预警技术研究[D]. 北京:煤炭科学研究总院,2018.
CHEN Zhen. Research on intelligent monitoring and safety early warning technology of mine roadway tunneling[D]. Beijing: China Coal Research Institute, 2018.

[18] 付元,朱赛虎. 矿用 IP 网络广播系统在保德煤矿的应用[J]. 工矿自动化,2013,39(8):92-94.
FU Yuan,ZHU Saihu. Application of mine-used IP network broadcast system in Baode Coal Mine[J]. Industry and Mine Automation,2013,39(8):92-94.

[19] 王树强,江云,徐炜,等. 矿用 IP 广播对讲系统设计[J]. 工矿自动化,2011,37(11):4-6.
WANG Shuqiang,JIANG Yun,XU Wei,et al. Design of mine-used IP broadcast and talkback system[J]. Industry and Mine Automation,2011,37(11):4-6.

[20] 路小敏. 基于 CAN 总线的煤矿广播系统的研究[D]. 西安:西安科技大学,2015.
LU Xiaomin. The research of coal mine broadcasting system based on CAN bus[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology,2015.

[21] 张莉. 基于 CAN 总线的通信系统设计研究[J]. 自动化与仪器仪表,2018(4):91-94.
ZHANG Li. Design and research of communication system based on CAN bus [J]. Automation & Instrumentation,2018(4):91-94.

[22] 卫文慧,魏免. 基于以太网和 CAN 总线的煤矿语音广播系统设计[J]. 工矿自动化,2015,41(2):103-106.
WEI Wenhui,WEI Mian. Design of voice broadcasting system of coal mine based on Ethernet and CAN bus [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41 (2): 103-106.

[23] 张庭芳,黄海林,郭劲林,等. CAN 网络控制系统的时延分析及混合算法[J/OL]. 计算机工程:1-7[2019-08-25]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0054611>.
ZHANG Tingfang, HUANG Hailin, GUO Jinlin, et al. Delay analysis and hybrid algorithm of CAN network control system [J/OL]. Computer Engineering: 1-7 [2019-08-25]. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0054611>.

[24] 巫正中,李先利,张家为. 基于无线 MESH 网络的煤矿应急救援通信系统研究与设计[J]. 中国煤炭,2014,40(11):72-76.
WU Zhengzhong,LI Xianli,ZHANG Jiawei. Research and design of emergency communication system for coal mine rescue based on wireless MESH network [J]. China Coal,2014,40(11):72-76.

[25] 李起伟,霍中刚,温良,等. 基于无线 Mesh 网络的煤矿应急救援系统设计研究[J]. 工矿自动化,2012,38(6):39-43.
LI Qiwei, HUO Zhonggang, WEN Liang, et al. Development of coal mine emergency rescue system based on wireless Mesh network[J]. Industry and Mine Automation,2012,38(6):39-43.

[26] 张维维. 无线 Mesh 网络路由与信道分配优化研究[D]. 长春:吉林大学,2018.
ZHANG Weiwei. Research on routing and channel allocation optimization in wireless Mesh networks [D]. Changchun: Jilin University,2018.