



文章编号:1671-251X(2021)08-0001-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17821

煤矿智能化与矿用 5G 和网络硬切片技术

孙继平

(中国矿业大学(北京), 北京 100083)



扫码移动阅读

摘要:为减少煤矿井下采掘工作面作业人员,提出了采掘工作面无人 5G 地面远程控制方法:在采掘工作面设置工业摄像机和传感器,将视频、音频和传感器信号通过 5G 网络传输至地面,地面操作人员远程操作设备,将控制命令通过 5G 网络传输至采掘工作面,控制采掘设备动作。提出了用于综采工作面无人地面远程控制的无线传输距离和传输带宽计算方法。综采工作面两端头的基站之间无线传输距离应不小于综采工作面长度的 1/2。综采工作面无人地面远程控制所需上行传输总带宽与综采工作面长度成正比,与液压支架中心距成反比,与支架和摄像机数量比成反比,与单台摄像机视频压缩后所需传输带宽成正比。为减少综采工作面无人地面远程控制对上行传输带宽的需求,可以只传输邻近采煤机的摄像机视频。综采工作面无人地面远程控制所需上行传输最小带宽与邻近采煤机的摄像机数量成正比,与单台摄像机视频压缩后所需传输带宽成正比。提出了综采工作面无人地面远程控制系统无线传输距离测试方法,用于综采工作面无人地面远程控制的 5G 等无线传输系统,在保证传输带宽、时延和可靠性的前提下,对无线传输距离进行测试,基站上行无线传输带宽不得小于 20 Mbit/s,同时无线传输距离不小于 150 m。提出了基于网络硬切片的全矿井一体化信息传输网,通过网络硬切片,给煤矿安全监控、矿井监控、人员及车辆和设备定位、视频监控、语音通信、5G 通信等分配不同的信道,既保证了煤矿安全监控和矿井监控等高可靠、低时延的要求,也统一了煤矿井下信息传输网络,将煤矿安全监控网、矿用工业以太网和矿用 5G 通信网等多网合一。

关键词:煤矿智能化; 5G; 网络硬切片; 无人工作面; 地面远程控制; 全矿井一体化信息传输网; 无线传输距离

中图分类号:TD655

文献标志码:A

Coal mine intelligence, mine 5G and network hard slicing technology

SUN Jiping

(China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract:In order to reduce the number of operators in the working face of coal mines, an unmanned 5G ground remote control method for working face is proposed. The industrial cameras and sensors are set up in the working face, which transmit video, audio and sensor signals to the ground through the 5G network. The ground operator operates the equipment remotely, which transmits control commands to the

收稿日期:2021-08-10;**修回日期:**2021-08-13;**责任编辑:**盛男,郑海霞。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801800)。

作者简介:孙继平(1958—),男,山西翼城人,教授,博士,博士研究生导师,中国矿业大学(北京)信息工程研究所所长,原副校长;获国家科技进步奖和技术发明奖二等奖 4 项(第 1 完成人 3 项);作为第 1 完成人获省部级科技进步特等奖和一等奖 8 项;作为第 1 完成人主持制定中华人民共和国煤炭行业 and 安全生产行业标准 29 项;作为第 1 发明人获国家授权发明专利 90 余件;主持制定《煤矿安全规程》第十一章“监控与通信”;作为第 1 作者或独立完成著作 12 部;被 SCI 和 EI 检索的第 1 作者或独立完成论文 90 余篇;作为国务院煤矿事故调查专家组组长参加了 10 起煤矿特别重大事故调查工作;E-mail:sjp@cumtb.edu.cn。

引用格式:孙继平.煤矿智能化与矿用 5G 和网络硬切片技术[J].工矿自动化,2021,47(8):1-6.

SUN Jiping. Coal mine intelligence, mine 5G and network hard slicing technology[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(8): 1-6.

working face through the 5G network, and controls the actions of the mine equipment. The wireless transmission distance and transmission bandwidth calculation method are proposed for unmanned ground remote control of the fully mechanized working face. The wireless transmission distance between the base stations at the two ends of the fully mechanized working face should not be less than 1/2 of the length of the fully mechanized working face. The total uplink transmission bandwidth required for unmanned ground remote control of the fully mechanized working face is proportional to the length of the fully mechanized working face, inversely proportional to the center distance of the hydraulic support, inversely proportional to the number of supports and cameras, and proportional to the transmission bandwidth required for the compressed video of a single camera. In order to reduce the demand for uplink transmission bandwidth for unmanned ground remote control of fully mechanized working face, it is possible to only transmit the camera videos of the adjacent shearers. The minimum bandwidth of uplink transmission required for unmanned ground remote control the fully mechanized working face is proportional to the number of cameras of the adjacent shearers, and proportional to the required transmission bandwidth of a single camera after video compression. The wireless transmission distance test method for the unmanned ground remote control system of the fully mechanized working face is proposed. The method is applied for the wireless transmission system such as 5G for the unmanned ground remote control system of the fully mechanized working face. Under the premise of ensuring transmission bandwidth, time delay and reliability, the wireless transmission distance is tested. The test shows that the uplink wireless transmission bandwidth of the base station shall not be less than 20 Mbit/s, and the wireless transmission distance shall not be less than 150 m. This study proposes the all-mine integrated information transmission network based on network hard slicing. Through network hard slicing, different channels are allocated for coal mine safety monitoring, mine monitoring, personnel and vehicle and equipment positioning, video monitoring, voice communication, 5G communication, etc. This method guarantees the high reliability and low time delay requirements of coal mine safety monitoring and mine monitoring, and unifies the underground information transmission network of coal mines. Moreover, it integrates multiple networks such as coal mine safety monitoring network, mine industrial Ethernet and mine 5G communication network.

Key words: coal mine intelligence; 5G; network hard slicing; unmanned working face; ground remote control; all-mine integrated information transmission network; wireless transmission distance

0 引言

煤炭是我国的主要能源,在我国能源生产与消费结构中所占比例最大。煤炭行业是高危行业,瓦斯爆炸、水灾、火灾、冲击地压、顶板冒落、运输事故、机电事故、放炮事故等困扰着煤矿安全生产。事故调查表明,在同样事故条件下,事故死亡人数和事故发生概率与煤矿井下作业人数呈正变关系^[1-8]。因此,通过煤矿智能化、信息化和自动化,减少煤矿井下作业人员,是安全、高效、绿色现代化矿井的必然选择。

1 采掘工作面无人 5G 地面远程控制方法

事故调查和统计表明,我国煤矿事故主要发生在采掘工作面^[1,7]。因此,通过煤矿智能化、信息化和自动化,减少采掘工作面作业人员,是建设安全、

高效、绿色现代化矿井的关键。目前,综采工作面已实现采煤机、刮板输送机、液压支架、破碎机、转载机等联动,记忆割煤,地质钻孔+工作面运输和回风巷道顶底板估算煤岩界面。但煤岩界面自动识别和工作面设备精确定位等关键技术问题仍没有解决^[9]。

煤岩界面自动识别是综采工作面无人操作自动控制的关键技术之一。不能准确识别煤岩界面,将无法准确控制采煤机的截割高度,采煤机将会截割顶底板岩石或大量遗煤。采煤机截割顶底板岩石,会增加煤炭含矸量,加快截齿磨损;特别是截齿截割坚硬顶板,会产生火花,引起瓦斯爆炸。采煤机截割大量遗煤,不但浪费煤炭资源,降低资源采出率,还会造成采空区遗煤自燃,影响煤矿安全生产。

为解决煤岩界面自动识别难题,人们提出了基于伽马射线、地质雷达、图像、红外、声音、振动、粉尘、有功功率、电流、截齿受力、力矩等的煤岩界面自

动识别方法^[10],地质钻孔+工作面运输和回风巷道顶底板估算煤岩界面。基于红外、声音、振动、有功功率、电流、截齿受力、力矩等的煤岩界面自动识别方法需煤与岩石硬度差异大,且需截割岩石。基于地质雷达的煤岩界面自动识别方法需煤与岩石电磁参数差异大,且地质雷达在工作面安装困难。基于伽马射线的煤岩界面自动识别方法需煤与岩石射线辐射差异大。基于图像的煤岩界面自动识别方法需截割岩石,算法复杂。基于粉尘的煤岩界面自动识别方法需截割岩石,可靠性差。地质钻孔+工作面运输和回风巷道顶底板估算煤岩界面不适用于地质构造复杂的条件。现有煤岩界面识别和估算方法难以满足无人工作面自动控制的需求。

综采工作面设备精确定位是保证工作面平直、综采设备有序工作的关键。综采工作面设备精确定位要求定位误差不大于 0.05 m。目前,基于 ZigBee 的煤矿井下人员定位系统的定位误差不大于 3 m,基于 UWB 的煤矿井下人员定位系统的定位误差不大于 0.3 m,在综采工作面受采煤机和液压支架等影响,定位误差更大。ZigBee 和 UWB 系统均难以满足无人工作面自动控制的需求。

在煤岩界面自动识别和工作面设备精确定位等关键技术难题被攻克前,为减少煤矿井下采掘工作面作业人员,笔者提出了采掘工作面无人 5G 地面远程控制方法。在采掘工作面设置工业摄像机和传感器,将视频、音频和传感器信号通过 5G 网络传输至地面,地面操作人员根据采掘工作面视频、音频和传感器信息,远程操作设备,将控制命令经 5G 网络传输至采掘工作面,控制采掘设备动作。该方法将煤矿井下采掘工作面作业人员转移至地面,减少了采掘工作面作业人员,改善了作业环境,促进了煤矿安全生产。

采掘工作面无人地面远程控制对信息传输系统提出了较高要求。为传输多路视频信号,信息传输系统应满足大带宽要求;为实现实时控制,信息传输系统应满足低时延要求;为实现正确控制,信息传输系统应满足高可靠要求;为适应采掘工作面移动需求,便于使用维护,摄像机应采用无线接入。5G 无线传输系统具有大带宽、低时延、高可靠、无线接入等特点^[9,11-13],是目前采掘工作面无人地面远程控制的必然选择。

2 综采工作面无线传输距离与带宽

用于综采工作面无人地面远程控制的 5G 等无线传输系统,应满足综采工作面无人地面远程控制对无线传输距离、传输带宽等的需求,以保证工作面

视频、声音和传感器等信号实时、可靠上传至地面。这就需要计算不同工作面传输距离和传输带宽,并对系统的传输距离和带宽进行测试。笔者提出了综采工作面无人地面远程控制的无线传输距离和传输带宽计算方法及系统无线传输距离测试方法。

(1) 综采工作面无线传输距离计算方法。为便于使用和维护,无线基站一般布置在综采工作面两端头。为实现综采工作面无线全覆盖,布置在综采工作面两端头的基站之间无线传输距离应不小于综采工作面长度的 1/2。综采工作面长度一般为 90~300 m,为满足绝大多数综采工作面无线全覆盖的需求,综采工作面无线传输距离应不小于 150 m。

(2) 综采工作面无线传输带宽计算方法。综采工作面无人地面远程控制的下行信道主要传输控制命令,所需下行传输带宽小。综采工作面无人地面远程控制的上行信道传输视频、声音和传感器等信号,所需上行传输带宽大,且主要取决于视频信号带宽(声音和传感器信号所需带宽远小于视频信号所需带宽)。综采工作面无人地面远程控制所需上行传输总带宽与综采工作面长度成正比,与液压支架中心距成反比,与支架和摄像机数量比成反比,与单台摄像机视频压缩后所需传输带宽成正比。

$$B_z = LB/DN \quad (1)$$

式中: B_z 为上行传输总带宽,Mbit/s; L 为综采工作面长度,m; B 为单台摄像机视频压缩后所需传输带宽,Mbit/s; D 为液压支架中心距,m; N 为支架与摄像机数量比。

为满足绝大多数综采工作面无人地面远程控制对上行传输带宽的需求,取综采工作面长度 $L=300$ m,4K 高清摄像机视频压缩后所需传输带宽 $B \geq 20$ Mbit/s,液压支架中心距 D 一般为 1.5 m 或 1.75 m。当液压支架中心距为 1.5、1.75 m 时,综采工作面无人地面远程控制所需上行传输总带宽分别为 1 333、1 143 Mbit/s。

为减少综采工作面无人地面远程控制对上行传输带宽的需求,只传输邻近采煤机的摄像机视频。综采工作面无人地面远程控制所需上行传输最小带宽与邻近采煤机的摄像机数量(一般取 1~3)成正比,与单台摄像机视频压缩后所需传输带宽成正比。

$$B_x = BM \quad (2)$$

式中: B_x 为上行传输最小带宽,Mbit/s; M 为邻近采煤机的摄像机数量。

当 $M=1$ 时,综采工作面无人地面远程控制所需上行传输最小带宽 $B_x \geq 20$ Mbit/s。

(3) 系统无线传输距离测试方法。在无线收发设备不变等条件下,无线传输距离越远,传输带宽越

窄、时延越大、可靠性越低。因此,应在规定的传输带宽、时延和可靠性条件下,测试无线传输距离。目前,矿用 5G 系统的无线传输距离指标均没有标注传输带宽,不利于煤矿企业用户选择和使用,甚至不能用于综采工作面地面远程控制。用于综采工作面无人地面远程控制的 5G 等无线传输系统,在保证传输带宽、时延和可靠性的前提下,采用无线传输距离测试方法对无线传输距离进行测试,基站上行无线传输带宽不得小于 20 Mbit/s,同时无线传输距离不小于 150 m。

3 基于网络硬切片的全矿井一体化信息传输网

煤矿井下有粉尘、淋水,环境潮湿、空间狭小、照度低,瓦斯爆炸和顶板冒落等会造成光缆和电缆断缆、设备损毁等。为便于使用和维护,应减少煤矿井下光缆和电缆的使用。目前,用于煤矿井下的通信与信息系统可分为监控、通信、定位、监视 4 大类,形成了矿用有线调度通信网、煤矿安全监控网、矿用工业以太网和矿用 5G 通信网。

3.1 矿井监控、通信、定位和监视系统

矿井监控系统主要包括煤矿安全监控系统(为强制装备,目前独立组网)、回采工作面监控系统、掘进工作面监控系统、带式输送机监控系统、胶轮车运输监控系统、轨道运输监控系统、提升运输监控系统、供电监控系统、排水监控系统、压风机监控系统、火灾(内因和外因)监控系统、矿山压力与冲击地压监控系统、水灾监控系统等^[8,14]。

矿井通信系统主要包括有线调度通信系统(兼做应急通信系统,为强制装备,独立组网)、广播通信系统(为强制装备)、救灾通信系统(为强制装备,救护队员携带)、应急通信系统(由有线调度通信系统兼)等^[7,15-18]。

矿井人员和车辆定位系统主要用于遏制超定员生产、运输事故防治和车辆调度等。其中矿井人员定位系统为强制装备^[7,19]。

煤矿视频监视系统主要用于胶带煤量监视、探水钻孔监视、瓦斯抽采钻孔监视、回采工作面监视、掘进工作面监视、胶轮车运输监视、轨道运输监视、变电所/配电点监视、水泵房/排水点监视、提升机房监视、主要通风机房监视、压风机房监视、煤场监视、违章作业监视等^[7,20]。

3.2 矿用网络

目前,矿用网络主要有矿用有线调度通信网、煤矿安全监控网、矿用工业以太网^[19,21]和矿用 5G 通信网。

矿用有线调度通信网主要传输矿用有线调度通

信系统的语音信号。矿用有线调度通信系统一般由调度台、交换机、安全栅、本质安全防爆固定电话机、电缆等组成。矿用有线调度通信系统具有井下设备不需要电源、可靠性高等优点,即使瓦斯超限等造成停电,只要电缆不断、电话不坏,系统就能正常工作。因此,矿用有线调度通信系统兼做矿井应急通信系统,在事故应急救援中发挥着重要作用。为进一步提高矿用有线调度通信系统可靠性,要求矿用有线调度通信网独立组网。

煤矿安全监控网主要传输煤矿安全监控系统传感器和执行器信号,具有可靠性高、实时性强等特点。为避免摄像机视频等宽带信号影响煤矿安全监控系统实时性和可靠性,目前要求煤矿安全监控系统严禁与视频监视系统共网^[22]。煤矿安全监控系统一般由传感器、分站(独立或与交换机一体)、交换机、电源、光缆、电缆、主机、服务器等组成,其中,交换机和光缆构成煤矿安全监控网。

矿用工业以太网主要传输除上述矿用有线调度通信网和煤矿安全监控网以外的定位、语音、图像和监控信号,一般由交换机和光缆构成环网。定位、语音、图像和监控系统接入矿用工业以太网的方法不同:① 矿井人员定位系统的定位卡经 UWB 或 ZigBee 无线接入定位分站(独立或与交换机一体)。独立的定位分站经光缆接入矿用工业以太网交换机;与交换机一体的定位分站经交换机接入矿用工业以太网。② 矿用手机经 WiFi,4G,3G 无线接入基站(独立或与交换机一体)。独立的基站经光缆接入矿用工业以太网交换机;与交换机一体的基站经交换机接入矿用工业以太网。③ 矿用无线摄像机经 WiFi 无线接入基站(独立或与交换机一体)。独立的基站经光缆接入矿用工业以太网交换机;与交换机一体的基站经交换机接入矿用工业以太网。④ 矿用有线摄像机经光缆接入矿用工业以太网交换机。⑤ 矿用无线传感器(不含煤矿安全监控系统传感器)经 ZigBee 或 WiFi 接入分站(独立或与交换机一体)。独立的分站经光缆接入矿用工业以太网交换机;与交换机一体的分站经交换机接入矿用工业以太网。⑥ 矿用有线传感器(不含煤矿安全监控系统传感器)经电缆接入分站(独立或与交换机一体)。独立的分站经光缆接入矿用工业以太网交换机;与交换机一体的分站经交换机接入矿用工业以太网。⑦ 矿用网络传感器(不含煤矿安全监控系统传感器)经光缆接入矿用工业以太网交换机。⑧ 矿用无线移动终端(不含手机和无线传感器)经 ZigBee, WiFi,4G,3G 无线接入基站(独立或与交换机一体)。独立的基站经光缆接入矿用工业以太网。

交换机;与交换机一体的基站经交换机接入矿用工业以太网。

矿用5G通信网具有大带宽、低时延、高可靠、广接入等优点,可同时传输语音、数据和视频等信号。矿用手机、摄像机、数传模组等5G无线终端经5G无线接入矿用基站(独立或与基站控制器一体)。独立的矿用基站经光缆接入基站控制器,基站控制器经光缆接入5G网络交换机(矿用5G通信网);与基站控制器一体的矿用基站经光缆接入5G网络交换机(矿用5G通信网)。现有矿用工业以太网不能传输5G信号,矿用5G通信网需独立组网。

3.3 全矿井一体化信息传输网

目前煤矿井下至少有矿用有线调度通信网、煤矿安全监控网和矿用工业以太网3张网,如果煤矿井下使用5G,还需增加矿用5G通信网,共有4张网。这既增加了网络建设成本和维护成本,也增加了网络维护人员,不利于网络的使用维护和减人提效。

采用服务质量QoS(Quality of Service)方法来满足不同应用对服务质量的需求,即对实时性要求高、重要的数据报文,提供较高的优先级,优先处理;对实时性要求不高、普通的数据报文,提供较低的优先级,网络拥塞时可以丢弃。一般情况下,QoS可以保证最高优先级应用的实时性和可靠性,但当多路接口信号同时汇入且数据量较大时,或前1个数据包正在发送时,最高优先级应用的实时性和可靠性也难以保证。

为减少煤矿井下传输网络数量,减少网络维护人员,降低网络建设和维护成本,笔者提出了基于网络硬切片的全矿井一体化信息传输网。网络硬切片是新一代网络技术,根据业务需要,将网络分割成多个信道,每个信道分配一定的带宽,不同业务可以分配不同的信道,也可以分配在同一信道,信道之间互不影响,系统停电重启或网管断网也不影响信道分配。例如,A信道发生拥塞,不影响B信道的实时性和可靠性。基于网络硬切片的全矿井一体化信息传输网给煤矿安全监控、矿井监控(含地面远程控制等)、人员及车辆和设备定位、视频监控、语音通信、5G通信等分配不同的信道,既保证了煤矿安全监控和矿井监控等高可靠、低时延的要求,也统一了煤矿井下信息传输网络,将煤矿安全监控网、矿用工业以太网和矿用5G通信网等多网合一。

4 结论

(1) 提出了采掘工作面无人5G地面远程控制方法。在采掘工作面设置工业摄像机和传感器,将视频、音频和传感器信号,通过5G网络传输至地

面,地面操作人员根据采掘工作面视频、音频和传感器信息,远程操作设备,控制命令通过5G网络传输至采掘工作面,控制设备动作,实现采掘工作面无人或少人作业。5G具有大带宽、低时延、高可靠、无线接入等特点,是目前采掘工作面地面远程控制的必然选择。

(2) 提出了用于综采工作面无人地面远程控制的无线传输距离和传输带宽计算方法。综采工作面两端头的基站之间无线传输距离应不小于综采工作面长度的1/2。综采工作面无人地面远程控制的下行信道主要传输控制命令,所需下行传输带宽小,上行信道传输视频、声音和传感器等信号,所需上行传输带宽大,且主要取决于视频信号带宽。综采工作面无人地面远程控制所需上行传输总带宽与综采工作面长度成正比,与液压支架中心距成反比,与支架和摄像机数量比成反比,与单台摄像机视频压缩后所需传输带宽成正比。为减少综采工作面无人地面远程控制对上行传输带宽的需求,可以只传输邻近采煤机的摄像机视频。综采工作面无人地面远程控制所需上行传输最小带宽与邻近采煤机的摄像机数量(一般取1~3)成正比,与单台摄像机视频压缩后所需传输带宽成正比。

(3) 提出了无线传输距离测试方法。用于综采工作面无人地面远程控制的5G等无线传输系统,在保证传输带宽、时延和可靠性的前提下,采用无线传输距离测试方法对无线传输距离进行测试,基站上行无线传输带宽不得小于20 Mbit/s,同时无线传输距离不小于150 m。

(4) 提出了基于网络硬切片的全矿井一体化信息传输网,通过网络硬切片,给煤矿安全监控、矿井监控、人员及车辆和设备定位、视频监控、语音通信、5G通信等分配不同的信道,将煤矿安全监控网、矿用工业以太网和矿用5G通信网等多网合一,既保证了煤矿安全监控和矿井监控等高可靠、低时延的要求,也统一了煤矿井下信息传输网络。

参考文献(References):

[1] 孙继平. 互联网+煤矿监控与通信[M]. 北京:煤炭工业出版社,2016.
SUN Jiping. Internet + coal mine monitoring and communication [M]. Beijing: China Coal Industry Press,2016.

[2] 孙继平. 煤矿安全生产理念研究[J]. 煤炭学报,2011, 36(2):313-316.
SUN Jiping. Research on coal-mine safe production conception[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2):313-316.

- [3] 孙继平,钱晓红. 2004—2015 年全国煤矿事故分析[J]. 工矿自动化,2016,42(11):1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Analysis of coal mine accidents in China during 2004-2015[J]. Industry and Mine Automation,2016,42(11):1-5.
- [4] 孙继平,钱晓红. 煤矿事故与应急救援技术装备[J]. 工矿自动化,2016,42(10):1-5.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Coal mine accident and emergency rescue technology and equipment [J]. Industry and Mine Automation,2016,42(10):1-5.
- [5] 孙继平. 煤矿信息化与自动化发展趋势[J]. 工矿自动化,2015,41(4):1-5.
SUN Jiping. Development trend of coal mine informatization and automation[J]. Industry and Mine Automation,2015,41(4):1-5.
- [6] 孙继平. 煤矿事故分析与煤矿大数据和物联网[J]. 工矿自动化,2015,41(3):1-5.
SUN Jiping. Accident analysis and big data and Internet of Things in coal mine[J]. Industry and Mine Automation,2015,41(3):1-5.
- [7] 孙继平. 煤矿事故特点与煤矿通信、人员定位及监视新技术[J]. 工矿自动化,2015,41(2):1-5.
SUN Jiping. Characteristics of coal mine accidents and new technologies of coal mine communication, personnel positioning and monitoring[J]. Industry and Mine Automation,2015,41(2):1-5.
- [8] 孙继平. 煤矿监控新技术与新装备[J]. 工矿自动化,2015,41(1):1-5.
SUN Jiping. New technologies and new equipments of coal mine monitoring [J]. Industry and Mine Automation,2015,41(1):1-5.
- [9] 孙继平. 煤矿智能化与矿用 5G[J]. 工矿自动化,2020,46(8):1-7.
SUN Jiping. Coal mine intelligence and mine-used 5G [J]. Industry and Mine Automation,2020,46(8):1-7.
- [10] 孙继平. 基于图像识别的煤岩界面识别方法研究[J]. 煤炭科学技术,2011,39(2):77-79.
SUN Jiping. Study on identified method of coal and rock interface based on image identification[J]. Coal Science and Technology,2011,39(2):77-79.
- [11] 孙继平,陈晖升. 智慧矿山与 5G 和 WiFi6[J]. 工矿自动化,2019,45(10):1-4.
SUN Jiping, CHEN Huisheng. Smart mine with 5G and WiFi6[J]. Industry and Mine Automation,2019,45(10):1-4.
- [12] 孙继平,张高敏. 矿用 5G 频段选择及天线优化设置研究[J]. 工矿自动化,2020,46(5):1-7.
SUN Jiping, ZHANG Gaomin. Research on 5G frequency band selection and antenna optimization setting in coal mine [J]. Industry and Mine Automation,2020,46(5):1-7.
- [13] 孙继平. 煤矿信息化自动化新技术与发展[J]. 煤炭科学技术,2016,44(1):19-23.
SUN Jiping. New technology and development of mine informatization and automation[J]. Coal Science and Technology,2016,44(1):19-23.
- [14] 孙继平. 安全高效矿井监控关键技术研究[J]. 工矿自动化,2012,38(12):1-5.
SUN Jiping. Research of key technologies for mine safety and efficiency monitoring [J]. Industry and Mine Automation,2012,38(12):1-5.
- [15] 孙继平. 现代化矿井通信技术与系统[J]. 工矿自动化,2013,39(3):1-5.
SUN Jiping. Modern mine communication technology and system[J]. Industry and Mine Automation,2013,39(3):1-5.
- [16] 孙继平,徐卿. 矿井无线中继应急通信系统实现方法[J]. 工矿自动化,2021,47(5):1-8.
SUN Jiping, XU Qing. Implementation method of mine wireless relay emergency communication system [J]. Industry and Mine Automation,2021,47(5):1-8.
- [17] 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.
- [18] 孙继平,钱晓红. 煤矿重特重大事故应急救援技术及装备[J]. 煤炭科学技术,2017,45(1):112-116.
SUN Jiping, QIAN Xiaohong. Emergency rescue technology and equipment of mine extraordinary accidents[J]. Coal Science and Technology,2017,45(1):112-116.
- [19] 孙继平. 矿井宽带无线传输技术研究[J]. 工矿自动化,2013,39(2):1-5.
SUN Jiping. Research of mine wireless broadband transmission technology [J]. Industry and Mine Automation,2013,39(2):1-5.
- [20] 孙继平,田子建. 矿井图像监视系统与关键技术[J]. 煤炭科学技术,2014,42(1):65-68.
SUN Jiping, TIAN Zijian. Image monitoring system and key technology in underground mine [J]. Coal Science and Technology,2014,42(1):65-68.
- [21] 孙继平. 煤矿井下有线宽带信息传输研究[J]. 工矿自动化,2013,39(1):1-5.
SUN Jiping. Research of wired broadband information transmission of coal mine [J]. Industry and Mine Automation,2013,39(1):1-5.
- [22] 孙继平. 煤矿信息化与智能化要求与关键技术[J]. 煤炭科学技术,2014,42(9):22-25.
SUN Jiping. Requirement and key technology on mine informatization and intelligent technology [J]. Coal Science and Technology,2014,42(9):22-25.