



推荐阅读:

[智能化煤矿分类、分级评价指标体系](#)

[煤矿智能化标准体系框架与建设思路](#)

[煤矿智能化\(初级阶段\)研究与实践](#)

[综采工作面煤层装备联合虚拟仿真技术构想与实践](#)

[煤矿井下随钻测量定向钻进技术与装备现状及展望](#)

[智慧煤矿主体架构设计与系统平台建设关键技术](#)

[虚拟现实技术在煤矿领域的研究现状及展望](#)

[德国工业 4.0 与中国煤机装备智能制造的发展](#)

[智慧煤矿与智能化开采技术的发展方向](#)

[智能矿井安全生产大数据集成分析平台及其应用](#)

[基于 TOA 压缩感知的矿井分布式目标定位方法](#)

[松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及发展趋势](#)

[我国煤层气钻井技术及装备现状与展望](#)

[煤矿井孔钻进技术及发展](#)

[2311m 顺煤层超长定向钻孔高效钻进技术](#)

[我国煤矿区钻进技术装备发展与应用](#)

[煤矿井下人员精确定位方法](#)

[智慧矿山建设架构体系及其关键技术](#)

[矿山工程信息物理系统研究及挑战](#)

[智能化无人开采系列关键技术之一——综采智能化工作面调斜控制技术研究](#)



移动扫码阅读

阎俊豪,贾宗璞,李东印.智能矿山车联网体系架构与关键技术[J].煤炭科学技术,2020,48(7):249-254. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.07.026
YAN Junhao, JIA Zongpu, LI Dongyin. Architecture and key technologies of Intelligent of Vehicles in intelligent mine [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7): 249-254. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2020.07.026

智能矿山车联网体系架构与关键技术

阎俊豪^{1,2}, 贾宗璞¹, 李东印²

(1.河南理工大学 计算机科学与技术学院,河南 焦作 454003;2.河南理工大学 能源科学与工程学院,河南 焦作 454003)

摘要:矿山车辆作为矿山生产的重要设备,其管理水平直接影响矿山生产、安全、经营管理的各个方面,应用车联网技术提升矿山车辆管理智能化水平是智能矿山建设的重要内容。为避免车联网在矿山车辆管理应用中因概念不清、目标不同、路径不同、体系架构不同、技术应用重点不同造成发展方向分散、重复建设投入、系统融合困难的问题,以智能煤矿为例,提出了矿山车联网的概念,并对其体系架构、关键技术和典型应用进行了分析探讨:首先,在回顾智能矿山和车联网发展的基础上,定义和阐述了矿山车联网的概念;然后参考车联网和矿山物联网体系结构,设计了由感知控制层、网络层、服务支持层和应用层构成的矿山车联网体系架构;综合车联网和智能矿山信息系统关键技术,分析了矿山车辆定位与监控、矿山车辆智能感知和控制、矿山车辆无线通信、矿山车联网协同计算等关键技术;最后从“人、车、环、管”4个方面出发,对矿山车辆及驾乘人员监控、矿山车辆自动驾驶及无人驾驶、基于矿山车辆的矿山安全监测、矿山车辆智能调度等矿山车联网典型应用进行了探讨。研究成果为推动车联网技术在智能矿山车辆管理中深入有序应用奠定了基础,同时丰富了矿山物联网技术内涵,为矿山物联网其他技术分支在智能矿山建设中的应用积累了经验。

关键词:煤矿智能化;矿山物联网;矿山车联网;智能调度

中图分类号:TD67

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2020)07-0249-06

Architecture and key technologies of Intelligent of Vehicles in intelligent mine

YAN Junhao^{1,2}, JIA Zongpu¹, LI Dongyin²

(1. College of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China; 2. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Mine vehicles are important equipment for mine production, and their management level directly affects all aspects of mine production, safety, and operation management. The application of IoV (Internet of Vehicles) to improve the intelligent level of mine vehicle management is an important part of intelligent mine construction. In order to avoid the problems of decentralized development direction, repeated construction investment and difficulty in system integration caused by unclear concepts, different objectives, different paths, different system architectures and different technical application priorities in the application of IoV in mine vehicle management, the intelligent coal mine was used as an example in this paper. It proposed the concept of MIoV (Mine Internet of Vehicles) and analyzed its system architecture, key technologies as well as typical applications. Firstly, on the basis of reviewing the development of intelligent mines and IoV, MIoV is defined and expounded. Secondly, with reference to the architecture of IoV and MIoT, the architecture of MIoV is designed, consisting of perceptual control layer, network layer, service support layer and application layer; and then with the combination of the MIoV key technologies and intelligent mine information system, the key technologies are analyzed, such as positioning and monitoring, intelligent perception and control, vehicle wireless communication, and collaborative computing. Finally, from the four aspects of “people, vehicle, environment and management”, the typical application of MIoV were discussed, such as mine vehicle and driver monitoring, mine vehicle automatic driving and unmanned driving, mine safety monitoring based on mine vehicles, mine vehicle intelligent scheduling. The research results laid a foundation for promoting the in-depth and orderly application of IoV technology in intelligent mine vehicle management, while enriching the technical connotation of MIoT, and accumulating experience for the application of other technical branches of MIoT in

收稿日期:2020-04-22;责任编辑:杨正凯

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFC0604502)

作者简介:阎俊豪(1980—),男,河南信阳人,讲师,博士研究生。Tel:0391-3987906, E-mail:yanjh@hpu.edu.cn

the intelligent mine construction.

Key words: intelligent mine; Mine Internet of Things; Mine Internet of Vehicle; intelligent dispatching

0 引言

矿山车辆作为矿山生产的重要设备,其管理水平直接影响矿山生产、安全、经营管理的各个方面。目前,传统矿山正在经历数字矿山阶段向智能矿山发展,智能矿山建设已成为行业应对新一轮工业革命的需要和行业转型升级的必然要求^[1]。矿山车辆管理智能化是智能矿山建设的重要内容,利用车联网技术可以提升矿山车辆管理水平,推动智能矿山高质量发展。

智能煤矿是智能矿山的重要组成部分和主要应用场景。煤矿智能化是适应现代工业技术革命发展趋势、保障国家能源安全、实现煤炭工业高质量发展的核心技术支撑^[2]。智能煤矿建设的主要任务之一就是露天煤矿实现现场少人化、无人化作业和在井工煤矿实现主辅运输系统的智能化、无人化运行^[3]。目前,煤矿智能化建设与“无人化、少人化作业”和“智能化、无人化运行”的目标还有很大差距。针对车联网在煤矿智能化建设中的应用,行业和企业都进行了不少探索。在矿山车辆智能化管理方面,国内煤炭企业从实际需求出发进行了不少探索。国家能源投资集团准能集团在数字矿山总体应用架构中建设了卡车调度系统、车辆防碰撞预警系统、边坡稳定监测系统、卡车轮胎在线监测系统、燃油监控系统等车辆管理系统。中煤平朔集团公司在生产信息化系统中建设了GPS智能卡车调度、乳化炸药车动态监控、车辆防碰撞、超速报警等车辆管理系统。在矿山车辆智能化方面,北方重汽、中国重汽、三一重工、宇通重工等企业都正在针对无人驾驶和自动化技术进行智能矿山车辆的研究和制造^[4]。在车联网综合应用方面,神东集团、慧拓智能、踏歌智行、山源科技等企业或解决方案提供商对特定场景车联网、“井下车联网”等车联网应用进行不少些探索。

2019年10月,江铜集团城门山铜矿联合华为、中国移动、航天重工、山推股份等企业联合打造了国内首个“中国版”有色矿山车联网。2019年12月,国家能源集团、航天科工集团“5G+车联网+智能装备联合创新实验室”成立。2020年3月,国家发改委等八部委联合发布的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》中明确指出,要求加快工业互联网和车联网技术在煤炭工业领域的推广应用。车联网

在煤炭工业领域的应用将随着煤矿智能化一起进入建设发展的快车道,矿山车联网的概念已经呼之欲出。

但与此同时,车联网在矿山车辆管理中的应用可能出现因概念不清、目标不同、路径不同、体系架构不同、技术应用重点不同造成发展方向分散、重复建设投入、系统融合困难的问题。基于此,笔者以车联网在智能煤矿中的应用为例(后文中的矿山均代表煤矿,智能矿山均代表智能煤矿),对矿山车联网的概念进行了定义和阐述,设计了智能矿山车联网体系架构,并对矿山车联网关键技术及典型应用内容进行了分析和探讨。

1 矿山车联网概念

1.1 相关概念

在经历了人力矿山、机械矿山、数字矿山等业态后,矿山发展正朝着自动化、智能化、无人化的智能矿山迈进^[5]。智能矿山以数字矿山和矿山物联网为基础,实现物理矿山的虚拟化、生产环节的可视化、运营环节的高效化,是在数字矿山和矿山物联网基础上对生产和经营的流程再造,是在感知和数字化基础上将信息提炼为决策智慧、将决策智慧转化为执行能力的过程^[6]。煤矿智能化发展始终引领智能矿山发展,王国法等^[7-9]学者针对煤矿智能化及智能煤矿建设标准体系框架和建设思路、智能化煤矿分类、分级评价指标体系等内容进行了深入的研究探索。关于矿山车辆,对于井工煤矿生产来说,主要包括承担着拉矸、送料、运煤、运人等重要井下运输任务的单轨吊、电机车、胶轮车等,对于露天煤矿生产,矿山车辆不仅包括运输车辆,还包括采掘、运输、排土、爆破等可移动的矿山机械设备。从某种意义上讲,所有可运动的矿山机械设备,都属于广义上的矿山车辆,矿山车辆管理智能化是智能煤矿的标志和煤矿智能化建设的重要内容。

车联网是物联网在智能交通领域应用后的衍生概念,因其服务对象和应用需求明确、运用技术和领域相对集中、实施和评价标准较为统一、社会应用和管理需求较为确定,引起了业界的普遍关注,被认为是物联网中最能够率取得突破的应用领域和重要分支,成为当前研究的热点^[10]。在理论方面,刘小洋等^[11]、李静林等^[12]学者对车联网的概念、体系结构、关键技术进行了深入研究。在行业领域,众多汽

车制造企业及车联网相关配套企业都进行了深度布局。2018年6月,工业和信息化部与国家标准委联合发布《国家车联网产业标准体系建设指南》,通过强化标准化工作进一步推动车联网产业发展。

1.2 矿车车联网概念的定义

矿车车联网是车联网技术在智能矿山中的应用,既需要满足智能矿山建设的实际需求,又要符合车联网向工业领域应用的发展趋势。随着车联网技术在智能矿山中的应用和探索的迅速推进,需要对矿车车联网概念的进行定义和阐述。

结合智能矿山建设实际需要和通用车联网概念的共识,笔者认为:矿车车联网是车联网在智能矿山领域应用后的衍生概念,是矿山物联网的重要应用分支,以矿山车辆(包括其他可运动的矿山机械设备)为主要对象,以提高矿山车辆管理水平,满足矿山生产、安全、经营管理需要,实现智能矿山为目标,运用传感技术、控制技术、无线通信网络技术与智能信息处理技术等手段,在矿山环境中建立的“人、车、环、管”相协同,可感、可控、可管、可信的开放融合系统。

推动车联网在智能矿山有序应用,不仅需要

对矿车车联网的概念进行定义,同时还要对矿车车联网的体系架构、关键技术和典型应用进行分析探讨。

2 矿车车联网体系架构

关于车联网体系架构,YANG Fangchun 等^[13]提出将其设计为感知控制层、接入传控层、协同计算控制层、应用层4个层次。矿车车联网的应用场景是矿山,所以必须在通用车联网体系结构的基础上针对矿山环境和业务需求进行设计和改造。车联网是物联网的重要分支,矿山物联网是物联网在智能矿山建设中的具体应用,因此,矿山物联网体系架构可以作为矿车车联网体系架构设计的重要参考。张申等^[14-15]、丁恩杰等^[16-17]、袁亮等^[18]对矿山物联网的主要特征、关键技术和具体应用进行了深入研究,一般将矿山物联网体系架构设计为感知层、传输层、数据处理层和应用层4个层次。

综合车联网和矿山物联网体系架构的层次设计以及具体内容,笔者将矿车车联网体系架构设计为感知控制层、网络层、服务支持层、应用层4个层次,如图1所示。

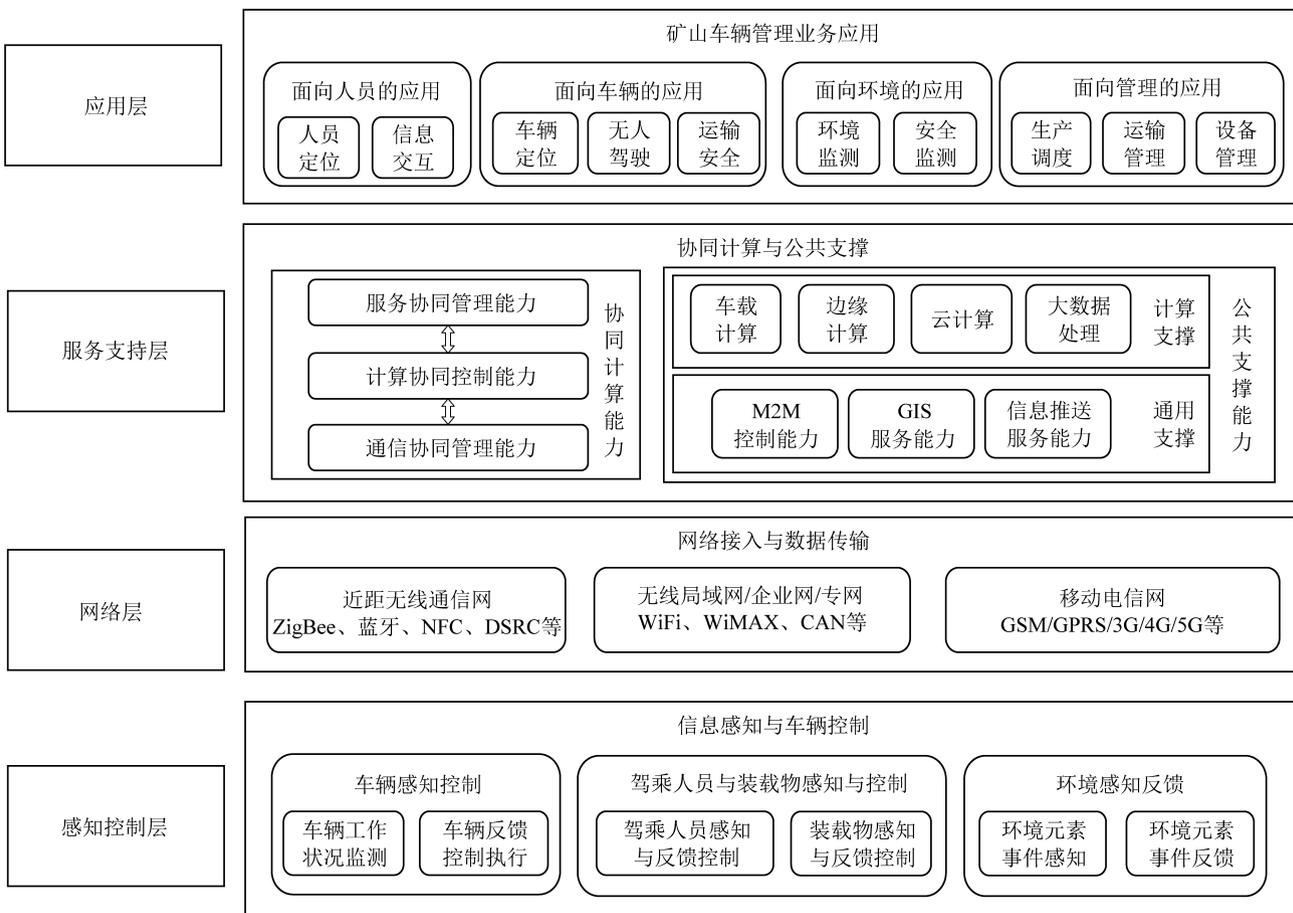


图1 矿车车联网体系架构

Fig.1 Architecture of MIoV

1)感知控制层。感知控制层实现矿山车辆的信息感知与反馈控制,通过传感器对车辆位置状况、驾乘人员位置状况与装载物和矿山环境元素进行感知,通过控制装置对感知信息进行自动反馈或执行对车辆的管理操作指令和控制动作,实现车辆控制管理。

2)网络层。网络层利用信息通信网络技术实现矿山车联网各个元素之间的网络接入与信息交互,可通过近距离无线通信技术实现车联网,通过移动通信网等技术实现车载移动互联网,通过企业网/专网、无线局域网/城域网等技术实现矿山车联网环境元素与服务的交互,为“人、车、环、管”协同提供车-人、车-车、车-路和车-网通平台。

3)服务支持层。服务支持层为应用层提供协同计算和公共支撑。协同计算能力包括计算协同、服务协同和通信协同。公共支撑能力包括计算支撑和通用支撑。计算支撑提供车载计算、边缘计算、云计算和大数据处理等计算能力。通用支撑提供M2M控制、GIS服务、信息推送等应用系统所需的相关服务。

4)应用层。应用层实现矿山车辆管理的相关业务应用。按照“人、车、环、管”4个方面,分为面向人员的应用,如人员定位与信息交互;面向车辆的应用,如车辆定位、无人驾驶、运输安全;面向环境的应用,如环境监测、安全监测;面向管理的应用,如生产调度、运输管理、设备管理。业务应用可分为封闭应用和开放应用,封闭应用在车辆管理系统内部使用,开放应用可以封装服务的方式向外部应用和系统开放。

3 矿山车联网关键技术与典型应用

3.1 矿山车联网关键技术

矿山车联网建设与应用需要相关技术支撑,部分技术发挥着基础性、关键性的作用。结合智能矿山信息系统平台^[19-20]和信息系统关键技术^[21]研究,参考通用车联网的关键技术,矿山车联网关键技术主要包括以下内容。

1)矿山车辆定位与监控技术。研究露天、井下等不同矿山环境车辆精确定位和监控的实现方法,主要包括基于GPS、RFID、GPRS、5G等技术的露天车辆定位技术和基于的Wi-Fi、RFID、UWB、ZigBee等的井下无线定位技术研究。

2)矿山车辆智能感知和控制。研究矿山车辆环境感知和自主控制的实现方法,主要包括矿山恶劣条件下障碍物检测及识别方法和设备、满足矿山

物联网物物相联、泛在感知要求的对人、车、环境参数信息采集与融合传输以及自动驾驶、无人驾驶为目标的车辆管理和自动控制系统和装置。

3)矿山车辆无线通信技术。研究不同场景下矿山车辆的V2E(vehicle-to-everything)组网与通信,主要包括面向防碰撞和协同运输的车与车通信(V2V,vehicle-to-vehicle)、面向自动驾驶、线路规划、远程控制等的车与网络通信(V2N,vehicle-to-network)、面向驾乘监控安全的车与人通信(V2P,vehicle-to-people)通信和面向生产管理和环境感知的车与基础设施通信(V2I,vehicle-to-infrastructure)。

4)矿山车联网协同计算技术。研究矿山车联网云计算、边缘计算、车载计算的协同控制方式,合理配置使用矿山车辆智能化和矿山车辆管理所需的车载和非车载计算资源,主要包括矿山车联网移动云计算平台和计算迁移系统建立^[22]、云边车计算协同方式、计算资源分配调度策略以及计算迁移策略设计等。

3.2 矿山车联网典型应用

与矿山信息化建设目标相一致,不断围绕“人、车(机)、环、管”4个方面对矿山车联网应用建设进行系统规划能够指导相关行业和企业在矿山车联网应用开发中明确研发方向和投入重点。矿山车联网应用开发参考架构如图2所示。

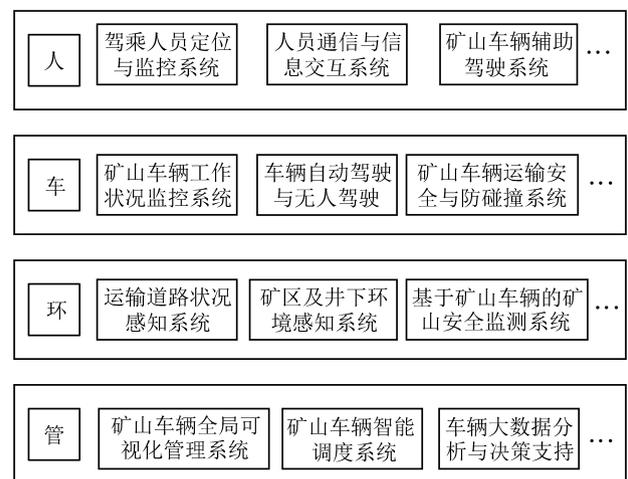


图2 矿山车联网应用开发参考架构

Fig.2 Reference Architecture of MIoV Application

针对“人、车、环、管”4个方面,矿山车联网可以重点关注以下典型应用。

1)矿山车辆及驾乘人员监控系统。矿山车辆和驾乘人员的监控是智能矿山车辆管理基础应用场景,目标是实现对所有矿山车辆和驾乘人员的全局、动态和精准管理。在矿山车联网支撑下,可通过系

统监控矿山车辆及驾乘人员的动态位置、工况及状态信息实现矿山车辆管理的透明化、可视化,进而实现与车辆和人员的可操作化。

2) 矿山车辆自动驾驶及无人驾驶。自动驾驶及无人驾驶符合矿山生产现场少人、无人化的发展趋势,是目前矿山车联网最典型、最热门的应用场景,无论是露天开采还是井工开采,相对于通用交通环境,矿山作业场景封闭,交通状况相对简单,交通参与元素数量和种类均较少,具有率先实现自动驾驶和无人驾驶的条件和前景。

3) 基于矿山车辆的矿山安全监测。矿山车辆通过装载相关感知设备和监测设备,在正常生产作业的同时对所处生产环境和自然环境的相关因素进行感知和监测,如露天矿边坡监测、井下巷道形变等,从而消除监测盲点或减少传统监测方式和手段的设备及人员投入。目前已有智能巡逻车、智能巡检机器人等相关应用研究。

4) 矿山车辆智能调度系统。矿山车联网实现的矿山车辆透明化、可视化、可操作化,既可以支撑运输系统管理调度细粒度管理和精细化管理,同时可以实现车辆调度模型、策略的快速迭代优化,从而推动矿山车辆调度从传统数字化到自动化和智能化的发展,提升矿山的生产管理效率和经济效益。

4 结 论

1) 随着煤矿智能化建设高潮的到来,将车联网技术应用于矿山车辆管理,建设矿山车联网,实现矿山车辆和车辆管理智能化将成为智能矿山建设重要内容和矿山企业和装备制造行业开展相关探索的热门领域。

2) 对矿山车联网概念、体系架构、关键技术与典型应用的阐述、设计、研究与探讨,将为矿山车联网在矿山行业广泛应用奠定基础,可以避免其快速发展可能出现的系统间无法协同融合、建设投入浪费,影响智能矿山和煤矿智能化的科学发展的的问题。

3) 智能矿山车联网研究探索和矿山车联网建设可以以智能煤矿为重点,充分考虑煤矿生产的技术条件和生产环境,利用现有的煤矿智能化、矿山物联网研究成果,从“人、车、环、管”4个方面对矿山车联网应用进行进一步研究。

4) 矿山车联网具有服务对象和应用需求明确、运用技术和领域相对集中、实施和评价标准较易统一的特点,将会是矿山物联网建设中率先得到应用和实现突破的重要领域,将为矿山物联网建设积累理论和实践经验,带动矿山物联网其他技术分支的

快速发展。

参考文献(References):

- [1] 张瑞新,毛善君,赵红泽,等.智慧露天矿山建设基本框架及体系设计[J].煤炭科学技术,2019,47(10):1-23.
ZHANG Ruixin, MAO Shanjun, ZHAO Hongze. Framework and structure design of system construction for intelligent open-pit mine[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10):1-23.
- [2] 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技术支持[J].煤炭学报,2019,44(2):349-357.
WANG Guofa, LIU Feng, PANG Yihui. Coal mine intellectualization: The core technology of high quality development[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(2):349-357.
- [3] 王国法,刘峰,孟祥军,等.煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J].煤炭科学技术,2019,47(8):1-36.
WANG Guofa, LIU Feng, MENG Xiangjun, et al. Research and practice on intelligent coal mine construction(primary stage)[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8):1-36.
- [4] 李宏刚,王云鹏,廖亚萍,等.无人驾驶矿用运输车辆感知及控制方法[J].北京航空航天大学学报,2019,45(11):2335-2344.
LI Honggang, WANG Yunpeng, LIAO Yaping. Perception and control method of driverless mining vehicle[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2019, 45(11):2335-2344.
- [5] 崔亚仲,白明亮,李波.智能矿山大数据关键技术与发展研究[J].煤炭科学技术,2019,47(3):66-74.
CUI Yazhong, BAI Mingliang, LI Bo. Key technology and development research on big data of intelligent mine[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3):66-74.
- [6] 韩建国.神华智能矿山建设关键技术研发与示范[J].煤炭学报,2016,41(12):3181-3189.
HAN Jianguo. Key technology research and demonstration of intelligent mines in Shenhua Group[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(12):3181-3189.
- [7] 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.
- [8] 王国法,庞义辉,刘峰,等.智能化煤矿分类、分级评价指标体系[J].煤炭科学技术,2020,48(3):1-13.
WANG Guofa, PANG Yihui, LIU Feng. Specification and classification grading evaluation index system for intelligent coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(3):1-13.
- [9] 王国法,杜毅博.煤矿智能化标准体系框架与建设思路[J].煤炭科学技术,2020,48(1):1-9.
WANG Guofa, DU Yibo. Coal mine intelligent standard system framework and construction ideas[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(1):1-9.
- [10] 王群,钱焕延.车联网体系结构及感知层关键技术研究[J].电信科学,2012,28(12):1-9.
WANG Qun, QIAN Huanyan. Architecture and key technologies

- for Internet of Vehicles[J]. Telecommunications Science, 2012, 28(12):1-9.
- [11] 刘小洋,伍民友.车联网:物联网在城市交通网络中的应用[J]. 计算机应用, 2012(4):900-904.
LIU Xiaoyang, WU Minyou. Vehicular CPS: an application of IoT in vehicular networks[J]. Journal of Computer Applications, 2012(4):900-904.
- [12] 李静林,刘志晗,杨放春.车联网体系结构及其关键技术[J]. 北京邮电大学学报, 2014(6):95-100.
LI Jinglin, LIU Zhihan, YANG Fangchun. Internet of Vehicles: the framework and key technology[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014(6):95-100.
- [13] YANG Fangchun, LI Jinglin, LEI Tao, *et al.* Architecture and key technologies for Internet of Vehicles: a survey[J]. Journal of Communications & Information Networks, 2017, 2(2):1-17.
- [14] 张申,张滔.论矿山物联网的结构性平台与服务性平台[J]. 工矿自动化, 2013, 39(1):34-38.
ZHANG Shen, ZHANG Tao. Discussion of structured platform and service platform of mine Internet of Things[J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(1):34-38.
- [15] 张申,胡青松,王刚.矿山物联网标准建设的思考[J]. 工矿自动化, 2018, 44(1):1-5.
ZHANG Shen, HU Qingsong, WANG Gang. Consideration about construction of standards for mine Internet of Things[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(1):1-5.
- [16] 丁恩杰,赵志凯.煤矿物联网研究现状及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5):1-5.
DING Enjie, ZHAO Zhikai. Research advances and prospects of mine Internet of Things[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(5):1-5.
- [17] 丁恩杰,施卫祖,张申,等.矿山物联网顶层设计[J]. 工矿自动化, 2017, 43(9):1-11.
DING Enjie, SHI Weizu, ZHANG Shen, *et al.* Top-down design of mine Internet of Things[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(9):1-11.
- [18] 袁亮.面向煤炭精准开采的物联网架构及关键技术[J]. 工矿自动化, 2017, 43(10):1-7.
YUAN Liang. Framework and key technologies of Internet of things for precision coal mining[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(10):1-7.
- [19] 邱硕涵,谭章禄.煤炭企业智慧矿山建设指标体系研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10):259-266.
QIU Shuohan, TAN Zhanglu. Study on index system of intelligent mine construction degree in coal enterprises[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10):259-266.
- [20] 庞义辉,王国法,任怀伟.智慧煤矿主体架构设计与系统平台建设关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3):35-42.
PANG Yihui, WANG Guofa, REN Huaiwei. Main structure design of intelligent coal mine and key technology of system platform construction[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(3):35-42.
- [21] 汤海龙.智慧矿山信息系统通用技术规范解读及关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S2):157-160.
TANG Hailong. Interpretation of general technical specifications for smart mine information systems and discussion on its key technologies[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S2):157-160.
- [22] 张文丽,郭兵,沈艳,等.智能移动终端计算迁移研究[J]. 计算机学报, 2016, 39(5):1021-1038.
ZHANG WenLi, GUO Bing, SHEN Yan, *et al.* Computation of floating on intelligent mobile terminal[J]. Chinese Journal of Computers, 2016, 39(5):1021-1038.