

文章编号:1671-251X(2020)07-0005-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17624

煤矿信息化建设回顾与展望

丁恩杰^{1,2}, 廖玉波³, 张雷⁴, 刘忠育^{1,2}

- (1. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008;
2. 矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室, 江苏 徐州 221008;
3. 淄博矿业集团有限责任公司 装备环保部, 山东 淄博 255000;
4. 徐州工程学院 信息工程学院, 江苏 徐州 221008)



扫码移动阅读

摘要:从煤矿信息化的定义出发,回顾了煤矿信息化建设经历的单机(系统)自动化、综合自动化、矿山物联网、智能矿山、感知矿山等阶段的特征、典型问题及具有代表性的解决方案,指出:单机(系统)自动化矿山仅能够对单一设备或单一系统进行简单控制,属于煤矿信息化建设的初级阶段;综合自动化矿山实现了多系统间的自动化控制,解决了信息孤岛问题,属于煤矿信息化建设的中级阶段;物联网矿山、智能矿山分别实现了人与人、人与物与物与物相联及深度相联,感知矿山实现了矿山信息与状态的认知与知识集成,属于煤矿信息化建设的高级阶段。梳理了煤矿信息化、数字化、虚拟化和智慧化之间的关系,指出:煤矿信息化包括矿山数字化、虚拟化和智慧化的所有内容;物理矿山、数字矿山、虚拟矿山通过物的集成、数据集成和语义集成形成一个完整的闭合体,智慧矿山是该闭合体的核心。分析了目前煤矿信息化建设在感知层、网络层、平台层、应用层存在的主要问题,探讨了煤矿信息化技术的发展趋势:自治设备大量涌现;煤矿透明化与精准控制;边缘计算与云平台协同;智能 APP 大量涌现。

关键词:煤矿信息化; 数字矿山; 虚拟矿山; 矿山物联网; 感知矿山; 智能矿山; 智慧矿山
中图分类号:TD67 文献标志码:A

Review and prospect of coal mine informatization construction

DING Enjie^{1,2}, LIAO Yubo³, ZHANG Lei⁴, LIU Zhongyu^{1,2}

(1. Internet of Things(Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. The National and Local Joint Engineering Laboratory of Internet Technology on Mine, Xuzhou 221008, China; 3. Equipment and Environmental Protection Department, Zibo Mining Group Co., Ltd., Zibo 255000, China; 4. College of Information Engineering, Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract:Based on the definition of coal mine informatization, the characteristics, typical problems and their representative solutions in different stages of coal mine informatization construction are reviewed, which include single machine (system) automation, integrated automation, mine Internet of things, intelligent mine and perception mine. It is pointed out that: Single machine(system) automation mine, which only carries on simple control to a single device or system, belongs to the initial stage of coal mine informatization construction; Integrated automation mine, which realizes automatic control among multi systems and solves information island, belongs to the middle stage; Internet of things mine, intelligent mine and perception mine belong to the senior stage, in which Internet of things mine and intelligent mine

收稿日期:2020-06-15;**修回日期:**2020-07-14;**责任编辑:**李明。
基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804401)。
作者简介:丁恩杰(1962—),男,山东青岛人,教授,博士,研究方向为监测监控与现场总线、信号处理、矿山物联网,E-mail: enjied@cumt.edu.cn。
引用格式:丁恩杰,廖玉波,张雷,等. 煤矿信息化建设回顾与展望[J]. 工矿自动化,2020,46(7):5-11。
DING Enjie,LIAO Yubo,ZHANG Lei,et al. Review and prospect of coal mine informatization construction[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(7):5-11.

separately realize connection and deep connection of person-person, person-object and object-object, and perception mine realizes cognition and knowledge integration of mine information and status. Relationships among coal mine informatization, digitization, virtualization and intelligence are combed. It is pointed out that: Coal mine informatization includes all contents of mine digitization, virtualization and intelligence; Physical mine, digital mine and virtual mine form an integral closed polygon through object integration, data integration and semantics integration, while smart mine is the core of the closed polygon. Main problems existed in current coal mine informatization construction are analyzed from aspects of perception layer, network layer, platform layer and application layer. Future development trends of coal mine informationization technology are discussed, which are a large amount of autonomous devices, coal mine transparency and precise control, coordination of edge computing and cloud platform, and a large amount of intelligent APP.

Key words: coal mine informationization; digital mine; virtual mine; mine Internet of things; perception mine; intelligent mine; smart mine

0 引言

煤矿安全一直是安全生产的重要领域,任务艰巨,责任重大。信息化是当今世界发展的大趋势,是推动经济社会变革的重要力量。煤炭工业信息化建设可以提高煤矿企业安全管理的预测、预防和防控能力,推动安全从静态管理向动态管理、从被动管理向主动管理、从程序管理向智能化管理的转变,从而推动企业安全生产的创新。根据《2006—2020 年国家信息化发展战略》提出的“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化,走中国特色的信息化道路”指导思想,本文探讨和分析了信息化的起源及内涵,概括了我国煤矿企业信息化建设历史和现状,总结了煤矿信息化内涵,并指出了我国煤矿信息化建设存在的问题和发展趋势。

1 煤矿信息化定义

信息化的概念最早出现在 20 世纪 60 年代的日本,直到 20 世纪 70 年代后期才被西方社会普遍使用^[1]。而我国首次明确给出信息化定义是在 1997 年召开的首届全国信息化工作会议上,该会议明确指出“信息化是指培育、发展以智能化工具为代表的新的生产力并使之造福于社会的历史过程”。

煤矿企业的信息化建设同其他企业相比,既有相似性,又有其特殊性。企业在生产经营过程中既要和上下游产业之间进行大量的能量、物质和信息交换,又要在企业内部以信息流为核心推动 workflow、资金流和物流的高效运转。然而,煤矿企业尤其是井工类煤矿,由于生产环境受水文、地质、瓦斯等诸多因素的影响,生产过程不确定因素增多,导致事故风险和事故带来的经济损失远远高于一般企业。因此,煤矿企业更加需要通过有效的信息化手段来降

低生产过程中的不确定性,进而保障煤矿安全、高效和绿色生产。提高信息能力,不但能够有效减少煤矿企业生产过程中面临的诸多不确定性,还能够提升企业的运营和管理水平,进而增强企业核心竞争力^[2]。据此,对煤矿信息化内涵界定如下:以提高安全生产和管理运营能力为核心,培养信息化人才,利用现代信息、计算机和人工智能等技术,对煤矿企业的生产、管理、运营等各个方面、各个环节进行信息采集、传输、存储、处理和综合利用,保障煤矿企业安全生产和运营管理,其最终目标是提升煤矿企业的核心竞争力和与环境的协同性^[3]。

2 煤矿信息化建设概况

煤炭工业信息化工作起始时间是 20 世纪 80 年代初。原煤炭工业部在 1984 年成立了煤炭工业部通信信息中心,其目的是实现全国各煤矿企业的信息联网与信息共享。这是煤炭工业信息工作起始的重要标志。与国外相比,我国煤矿信息化建设总体而言是起步晚、发展快。从 20 世纪 80 年代中期到现在,我国煤矿信息化建设先后经历了单机(系统)自动化、综合自动化、矿山物联网、智能矿山和感知矿山等阶段^[4-6],如图 1 所示。随着物联网、云计算、人工智能等技术的发展,我国煤矿信息化的发展趋势将向矿山智慧化方向演化。就各阶段的信息化程度而言,单机(系统)自动化矿山的信息化程度较低,仅能够对单一设备或单一系统进行简单控制,属于信息化建设的初级阶段。综合自动化矿山采用多种信息处理、通信和控制方法,实现了多系统间的自动化控制,解决了信息孤岛问题,属于煤矿信息化建设的中级阶段。物联网矿山是综合自动化矿山向智慧矿山转型的过渡阶段,目的是实现人与人、人与物和物与物相联,形成网络下移,解决认知孤岛问题。该

阶段以人工智能、大数据和云计算技术为核心支撑,是智慧矿山的初级阶段。由于煤矿信息化技术发展中主要强调了装备与系统的发展,也取得了傲人的成绩,但是在人机环信息语义描述与交互上发展缓慢,因而在2019—2020年提出智能矿山的概念,并赋予了智能矿山新的内涵。智能矿山融合物联网、大数据、人工智能和云计算等技术,实现了矿山中人与人、人与物及物与物的深度相联,属于智慧矿山的中级阶段。预计2030—2035年煤矿信息化技术发展进入智慧矿山高级阶段,即对矿山信息与状态的认知与知识集成阶段。中国矿业大学提出的感知矿山概念是对矿山信息与状态感传、认知的缩写,因此属于智慧矿山发展的高级阶段。

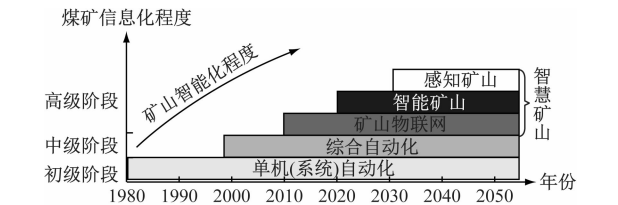


图1 我国煤矿信息化建设概况及趋势

Fig.1 Survey and trend of coal mine informatization construction in China

2.1 单机(系统)自动化

从20世纪80年代中期开始,随着微机技术的发展和普及,我国煤矿进入了单机自动化阶段。该时期矿用自动化设备类型不断增多,如:北京煤机厂(现中煤北京煤矿机械有限责任公司)BMJ型、煤炭科学研究总院太原分院(现中国煤炭科工集团太原研究院有限公司)ZZ5200型电控液压支架在液压支架上集成位移和压力传感器实现自动升降控制^[7];中国矿业大学和煤炭科学研究总院等先后将PLC和单片机用于掘进机、带式输送机、排水泵和通风机等设备的控制。这些技术的应用不但解决了传统控制器件体积大、成本高等问题,而且提升了控制设备的可靠性、安全性,使得我国煤矿安全状况得到初步改善,百万吨死亡率由1980年的4.5下降到1993年的1.17。但新技术应用也衍生出新的问题:由于采集的信息基本上都是模拟信号,导致信息传输距离有限、信号噪声较大,所以均为本地采集、处理并直接用于单机就地控制。

到20世纪90年代中后期,随着数字信息技术和网络技术的发展,煤矿自动化开始出现单系统地面监控,如中国矿业大学研制的KJ63型刮板输送机监测监控系统,将计算机微电子自动控制和传感器等技术融为一体,实现了地面远程监控井下刮板输送机。随后由于较多的单系统自动化希望实现地面监测监控,所以采用各系统布置独立的传输线路

到地面的方式。系统内部的信息传输以简单的调制方式为主,如模拟形式、基带形式、载波形式等,传输速率为600~9 600 bit/s,采用的传输电缆为矿用屏蔽电缆。矿井通信以数字程控调度通信系统为主,井下装机容量可达数百门,远不能满足自动化和监测监控的需求。另外,各系统间很少有信息交换,往往是各系统独立工作,如图2所示。这样就逐步形成了信息孤岛或子系统孤岛格局,即一个矿山有多个不同类型的窄带通信线路并行,导致总成本高、信道不能共用、维护量大、备品备件多、维护人员多、可靠性差、信息不能集成等问题。

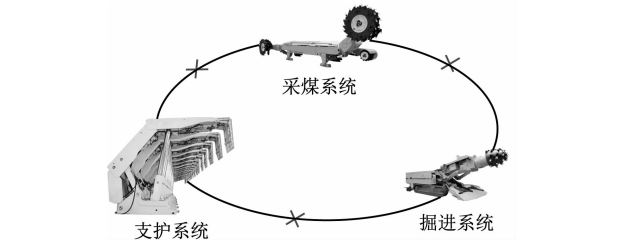


图2 信息孤岛

Fig.2 Information island

2.2 综合自动化

进入2000年,煤矿企业单机(系统)不断完善,各系统之间协调越来越困难,企业对各系统之间互联互通的需求越来越强烈。借助通信、工业总线及工业以太网技术飞速发展的契机,一些企业推出专用网络来实现煤矿不同系统的集成。在神华神东煤炭集团大柳塔煤矿使用双ControlNet总线,首次实现了胶带运输、排水泵房、通风机监控等系统集成,然而随着使用时间的增长,总线带宽受限的问题日益突出。为了克服该问题,兖矿集团济宁三号煤矿对ControlNet总线进行升级改造,使用ControlNet环网进行系统网络建设,提高了系统冗余度。2004年,山东能源龙矿集团北皂煤矿首次尝试利用百兆工业以太网实现综合自动化系统,然而由于井下网络流量分布不均匀,百兆工业以太网不能满足“三网合一”的需求。2005年,兖矿集团兴隆庄煤矿开始使用千兆工业以太网实现“三网合一”。在此基础上,郑煤集团按综合自动化运营模式,制定了一系列操作规范和标志,从制度和标准方面保障了综合自动化的安全运行,实现了矿井各类安全信息(瓦斯浓度、风速、负压、温度、CO浓度等)、煤仓煤位、水仓水位及主要机电设备生产工况参数等的采集、处理和统一传输,并且实现了信息的网络共享(如通过IE浏览),进而对各个子系统现场设备进行远程控制。短短几年内,该模式成为许多煤矿特别是新建煤矿的首选^[8]。

综合自动化实现了各系统之间的网络化集成,

使得各系统能够相互联系,解决了信息孤岛问题。然而系统的认知孤岛(图 3)问题并没有解决,这主要是由于各系统中传感器信息只能用于本系统,系统间协同管控能力弱,缺少相互联动和信息融合。

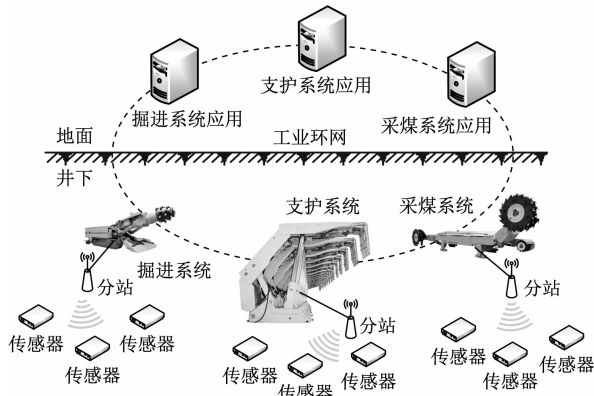


图 3 认知孤岛

Fig. 3 Cognition island

2.3 矿山物联网

物联网的概念由麻省理工学院在 1999 年首先提出,美国、日本和欧盟各国均开展了物联网技术与产业的研究。在矿山领域,许多专家对矿山物联网的概念进行了探讨和界定,目前还没有统一的定义,但是对矿山物联网的架构(图 4)、功能、目标等已基本达成共识。张申^[8]将工业和信息化部对物联网的定义加以引申,提出了矿山物联网的定义:矿山物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸,它利用感知技术与智能装置对矿山物理世界进行感知识别,通过网络传输互联,进行计算、处理和知识挖掘,实现矿山人与物、物与物信息交互和无缝连接,达到对矿山物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的,发展方向是矿山开采的无人化、智能化和智慧化。

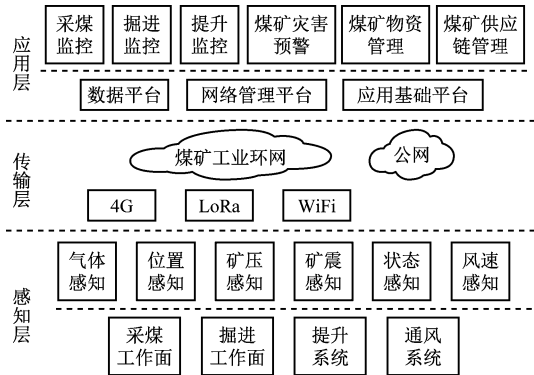


图 4 矿山物联网架构

Fig. 4 Structure of mine Internet of things

中国矿业大学物联网(感知矿山)研究中心于 2010 年提出了“感知矿山物联网”的理念,形成了较为完整的矿山物联网技术体系^[9-10]。2011 年 11 月,首个物联网示范工程——夹河煤矿矿山物联网示范

工程通过国家安全生产监督管理总局的鉴定和验收。这是我国煤矿企业进入煤矿物联网应用阶段的重要标志之一。孙继平^[11]提出了煤矿物联网的特点并指明了煤矿物联网需解决的关键技术问题。华钢等^[12]从结构、性能、工作原理、分层架构及关键技术等方面,探讨了物联网环境下的煤矿安全监控系统,并指出要实现物联网监控系统还需要解决规程和标准、传感器的低功耗等问题。刘统玉等^[13]以煤矿安全监控系统中的激光甲烷传感器、矿山微震监测系统中的光纤加速度传感器及采空区火灾监测预警系统中的光纤分布式温度传感器为例,介绍了矿用光纤传感器在矿山安全物联网中的应用情况。卢新明等^[14]阐述了矿山物联网云计算平台的关键技术、核心目标及主要功能。赵小虎等^[15]总结了矿山网络现状,结合矿山物联网的发展目标及未来矿山在信息处理方式上的变化趋势,提出了扁平化、智能化、资源抽象化等矿山物联网网络设计原则。袁亮^[16]提出了煤炭精准开采的科学构想,并在此基础上进一步凝练出了面向煤炭精准开采的 5 种关键技术和实现未来无人矿山的两大技术体系。

物联网技术推动了物物相联,为解决认知孤岛问题提供了手段。2010—2020 年为物联网技术发展的第一阶段,主要研究内容包括物联网平台技术,中心化的安全架构,物理、数字和虚拟融合技术,工业物联网技术及物联网生态的形成。2020—2030 年是物联网技术发展的第二阶段,称之为自治网络化的智慧物联网,其主要特征是物联网+人工智能,全分布式、异构网络架构,云、边、端融合的协同,离散式平台,区块链分布式存储技术,自治化物与系统。

2.4 矿山智慧化

以人工智能为代表的新技术在算法、算力和大数据等方面取得了突破性进展,计算机在视觉、语音和自然语言处理的部分任务中的表现已经超越人类。5G 移动通信技术已经成功在部分国家和地区商用,极大提升了海量多源信息的实时、互联、共享能力。借助这些新兴技术,矿山智能化成为时代和历史的必然选择^[17-18]。目前,学术界、工业界和政府高度重视我国矿山智能化技术的发展,并在多个省、市的矿山企业进行实践,初步形成了科研攻关、产品研发、技术落地的良性格局。

自 2008 年美国 IBM 提出“智慧地球”的概念后,煤炭行业由“智慧地球”理念衍生出了适应于信息化潮流的“智慧矿山”概念,众多专家学者立足于自己的观点,阐述了“智慧矿山”的内涵。智慧矿山联盟认为,“智慧矿山”以矿山的数字化和信息化为

基础,能够实现多角度多层次的主动感知、分析和处理。谭章禄等^[18]认为“智慧矿山”是指在矿山资源利用全过程中,人的意识世界、矿山的物理世界和信息世界三者构成的有机整体。除了“智慧矿山”外,很多专家和政府文件中也使用了“智能化煤矿”的概念。王国法等^[19]给出了“智能化煤矿”的定义:基于现代煤矿智能化理念,将物联网、云计算、大数据、人

工智能、自动控制、移动互联网、机器人化装备等与现代矿山开发技术深度融合,形成矿山全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的完整智能系统,实现矿井开拓、采掘、运通、分选、安全保障、生态保护、生产管理等全过程的智能化运行。其技术体系如图5所示。



图5 智能化煤矿技术体系

Fig. 5 Technique hierarchy of intelligent coal mine

3 煤矿信息化、数字化、虚拟化和智慧化之间的关系

矿山智慧化是物联网、云计算、人工智能及数字化技术发展到一定程度的必然产物,也被称为感知矿山或智慧矿山。张申等^[9]首先给出了感知矿山的定义。从定义上可以看出,感知矿山的基础是“感”但重在“知”,即通过矿山物联网技术形成对矿山所有实体的泛在感知后,结合人工智能、云计算、大数据和增强现实等技术,实现矿山安全生产过程和实体状态演变过程透明化,进而对矿山安全态势进行判识、预测和预警等。感知矿山是在综合自动化矿山、数字矿山的基础上,对矿山人、机、环等动态实体进行全面和详尽描述^[20],是对综合自动化矿山、数字矿山等概念的升华。有专家预测,2040年左右我国将完成感知矿山关键理论和相关技术的研发,并在部分煤矿进行示范和应用;也有专家预测关键时间节点为2050年。

由矿山信息化的内涵可以看出,煤矿信息化包括矿山数字化、虚拟化和智慧化的所有内容,其关系

如图6所示。可看出物理矿山、数字矿山、虚拟矿山通过物的集成、数据集成和语义集成形成了一个完整的闭合体,而智慧矿山则是该闭合体的核心。

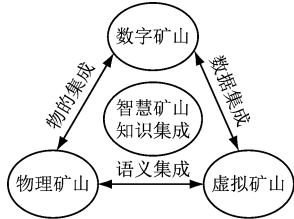


图6 煤矿数字化、虚拟化和智慧化之间的关系

Fig. 6 Relationships among coal mine digitization, virtualization and intelligence

4 我国煤矿信息化存在的问题和发展趋势

我国煤矿信息化发展道路已经走过了30多年的历程,虽然取得了丰硕成果,但仍存在不少问题^[21]。而物联网、大数据和人工智能等技术的发展,也会产生一些新的问题需要解决。

(1) 感知层问题。随着物联网技术发展,信息技术的发展重点逐步下移,“物”端将产生巨大的变化:① 传感检测装置与装备将逐步由简单智能装备

演变为自治(智慧)“物”。② 大量自治物的不断涌现,从信息编码和描述上均会产生本质的变化,需要制定新的编码和信息统一描述方法。③ 智能传感和泛在无线网络技术的飞速发展,要求传感检测装置的功耗和体积大幅度降低,以满足泛在、移动需求。④ 大量“物”产生的数据是海量的,全部实时上传数据中心,既增大了网络压力,又降低了数据应用的实效性,如何将“物”的计算能力提升是亟待解决的问题。

(2) 网络层问题。① 工业网络的安全性。物联网是一个开放的网络,如何在开放网络中保证数据的安全性和可靠性一直是难题。工业网络对安全性要求更高,如何提高工业物联网的数据安全性也是面临的问题之一。② 物联网条件下,节点 ID 成为数据路由的重要参数,该条件下多网融合、自治交互的开放协议、智能交互算法也需要进一步研究。③ 数据缓存问题。物联网通过物体、传感设备与网络的关联来实现物体自动、实时识别、定位、追踪和监控,并触发相关事件。面对持续采集或到达的数据流,物联网移动终端间需要进行大量的数据交互,在节点缓存空间有限的条件下,设计合理的节点缓存管理机制可以在提高消息投递成功率的同时,减少网络开销,降低终端能耗。

(3) 平台层问题。经过多年的研究,大数据和云计算技术已经得到了大力发展,且有多个业界厂商开始提供针对物联网大数据处理的云计算平台,如亚马逊的 AWS IoT、北方工业大学的 DeCloud 等。“十三五”期间,面向矿山安全生产行业的物联网云交互服务平台也有了长足发展。随着工业互联网在各行各业落地应用,相关标准、体系和架构正日趋完善,然而单一的云计算架构在不同领域应用中暴露出来的问题日益明显。通过分析从数字矿山到智能矿山建设进程中所采用的主流架构,发现目前主流架构无法满足日益增长的煤矿智能化需求,因此需要研究具有实时特性、适合矿山安全生产需求的实时云边协同计算服务架构。

(4) 应用层问题。缺乏基于人工智能驱动的物联网与大数据聚合的数据分析、设备管理与智能调度应用系统;缺乏矿山人、机、环高效运行协同管控系统;缺乏矿山特种设备远程在线诊断与综合服务系统;缺乏基于大数据的矿山安全态势分析与预测预警系统;缺乏矿山安全生产状态演化的实时再现、智能交互动态分析及可视化系统。

针对上述问题,借助人工智能、大数据、物联网和云计算等新技术,煤矿信息化技术的发展呈现出以下趋势:

(1) 自治设备大量涌现。具备自主学习和进化功能的煤矿机器人、新型智能检测装置、智能网关等边缘计算设备,将根据需求自动执行安全生产任务,并从独立的智能设备转变为协作智能设备群,最终形成采、掘、机、运、通、排等系统协同运转的智能体系。

(2) 煤矿透明化与精准控制。数字孪生技术应用于煤矿人、机、环、管各环节,多学科交叉融合,采用各领域知识与机理、大数据和人工智能技术形成煤矿各环节的透明化,利用人机智能协同实现煤矿的精准控制和各种灾害的预警防控。

(3) 边缘计算与云平台协同。根据简单问题边缘化、复杂问题集中化原则,边缘计算设备受能耗和计算资源等的限制,将主要承担较为简单的数据计算任务,而计算量大、能耗高的任务由云平台完成。边缘计算和云平台协同为自治设备状态管理与煤矿各环节透明化与精准控制提供重要支撑。

(4) 智能 APP 大量涌现。在数字孪生、专家系统和云边协同计算等技术的基础上,矿山各种生产要素的历史和当前状态及发展演化趋势,将以智能 APP 的方式精准、实时地呈现给相关矿山生产者和管理者。大量涌现的智能 APP 为煤矿安全生产和新兴智能化管理提供创新型的解决方案。

参考文献(References):

- [1] 杨阳,赵森.煤矿安全生产信息化建设研究[J].山东工业技术,2019(3):95.
YANG Yang, ZHAO Sen. Research on information construction of coal mine safety production [J]. Shandong Industrial Technology, 2019(3):95.
- [2] 孙继平.中国煤炭学会煤矿自动化专业委员会工作报告[R].南昌:江西鼎昇国际大酒店,2019.
SUN Jiping. Working report of coal mine automation professional committee of China coal society [R]. Nanchang: Jiangxi Dingsheng International Hotel, 2019.
- [3] 袁亮.我国煤炭工业高质量发展面临的挑战与对策[J].中国煤炭,2020,46(1):6-12.
YUAN Liang. Challenges and countermeasures for high quality development of China's coal industry[J]. China Coal, 2020, 46(1):6-12.
- [4] 朱晓鹏.数字矿山与矿区资源绿色开发探析[J].内蒙古煤炭经济,2019(19):96.
ZHU Xiaopeng. Probe into the green development of digital mines and mining area resources [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2019(19):96.
- [5] 彭赐灯,杜锋,程敬义,等.美国长壁工作面自动化发展[J].中国矿业大学学报,2019,48(4):693-703.

- PENG Cideng, DU Feng, CHENG Jingyi, et al. Automation in U. S. longwall coal mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2019, 48(4):693-703.
- [6] 吴立新,汪云甲,丁恩杰,等. 三论数字矿山——借力物联网保障矿山安全与智能采矿[J]. 煤炭学报, 2012,37(3):357-365.
- WU Lixin, WANG Yunjia, DING Enjie, et al. Thirdly study on digital mine: serve for mine safety and intellimine with support from IoT [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(3):357-365.
- [7] 潘尚达. 煤矿自动化产品的开发与推广[J]. 煤矿自动化, 1990(4):3-6.
- PAN Shangda. Development and promotion of coal mine automation products[J]. Coal Mine Automation, 1990(4):3-6.
- [8] 张申. 煤矿自动化发展趋势[J]. 工矿自动化, 2013, 39(2):27-33.
- ZHANG Shen. Development of coal mine automation [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(2):27-33.
- [9] 张申,丁恩杰,徐钊,等. 物联网与感知矿山专题讲座之一——物联网基本概念及典型应用[J]. 工矿自动化, 2010,36(10):104-108.
- ZHANG Shen, DING Enjie, XU Zhao, et al. Part I of lecture of Internet of things and sensor mine-basic concept of Internet of things and its typical application[J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(10):104-108.
- [10] 张申,丁恩杰,徐钊,等. 物联网与感知矿山专题讲座之四——感知矿山物联网与煤炭行业物联网规划建设[J]. 工矿自动化, 2011,37(1):105-108.
- ZHANG Shen, DING Enjie, XU Zhao, et al. Part IV of lecture of Internet of things and sensor mine-plan and construction of Internet of things of sensor mine and coal enterprise [J]. Industry and Mine Automation, 2011, 37(1):105-108.
- [11] 孙继平. 煤矿物联网特点与关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2011,36(1):167-171.
- SUN Jiping. Research on characteristics and key technology in coal mine Internet of things[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(1):167-171.
- [12] 华钢,宋志月,王永星,等. 物联网环境下煤矿安全监控系统体系架构研究[J]. 工矿自动化, 2013, 39(3):6-9.
- HUA Gang, SONG Zhiyue, WANG Yongxing, et al. Research of architecture of coal mine safety monitoring and control system in the environment of Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(3):6-9.
- [13] 刘统玉,王纪强,孟祥军,等. 面向矿山安全物联网的光纤传感器[J]. 工矿自动化, 2018, 44(3):1-7.
- LIU Tongyu, WANG Jiqiang, MENG Xiangjun, et al. Optical fiber sensor for mine safety Internet of things [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(3):1-7.
- [14] 卢新明,阚淑婷,张杏莉. 矿山物联网云计算与平台技术[J]. 工矿自动化, 2018, 44(2):1-5.
- LU Xinming, KAN Shuting, ZHANG Xingli. Cloud computation and platform technology for mine Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2):1-5.
- [15] 赵小虎,张凯,赵志凯,等. 矿山物联网网络技术的发展趋势与关键技术[J]. 工矿自动化, 2018, 44(4):1-7.
- ZHAO Xiaohu, ZHANG Kai, ZHAO Zhikai, et al. Developing trend and key technologies of network technology of mine Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(4):1-7.
- [16] 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.
- [17] 丁恩杰,胡青松. 矿山物联网顶层设计思路[J]. 物联网学报, 2018, 2(1):69-75.
- DING Enjie, HU Qingsong. Design ideas of the top layer of the mine Internet of things [J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2018, 2(1):69-75.
- [18] 谭章禄,陈晓. 煤炭企业信息化建设现状及发展对策探讨[J]. 工矿自动化, 2016, 42(7):63-65.
- TAN Zhanglu, CHEN Xiao. Discussion on situation and development countermeasures of coal enterprise information construction. [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(7):63-65.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.