

文章编号:1671-251X(2021)02-0116-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020100042

智能矿山建设实践及关键技术

任文清, 高小强

(神华神东煤炭集团有限责任公司 大柳塔煤矿, 陕西 神木 719315)



扫码移动阅读

摘要:目前对智能矿山概念、发展规划的研究较多,对智能化建设成果和关键技术的研究较少。基于智能矿山建设的 5 层技术架构,以大柳塔煤矿智能化建设为例,论述了综采、掘进、运输、供电、供排水等系统的智能化建设情况及成效:共取消井下固定岗位约 100 个,减少作业人员 200 余人,降低人工成本 4 000 万元/a,节约工业水电消耗 30%,提高设备利用率 5%,提高全员工效 10%。指出智能矿山建设的关键点在于拓宽网络通道、统一各子系统接口、关联设备安全可靠和配备专业人才队伍,由此总结了目前智能矿山建设中存在的难点,并有针对性地提出了要攻关的关键技术,包括自动割煤、移动设备人员接近探测、无线传感、集中加油、井口智能安检、无人驾驶等。

关键词:智能矿山;煤矿智能化;智能化综采;智能化掘进;智能化运输;智能化供电;智能化供排水;5G

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Construction practice and key technologies of intelligent mine

REN Wenqing, GAO Xiaoqiang

(Daliuta Coal Mine, Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu 719315, China)

Abstract: At present, there are more researches on the concept and development plan of intelligent mines, and less researches on the intelligent construction results and key technologies. Based on the 5-layer technical structure of intelligent mine construction, taking the intelligent construction of Daliuta Coal Mine as an example, the paper discusses the intelligent construction and effectiveness in terms of fully mechanized mining, excavation, transportation, power supply, water supply and drainage systems. A total of about 100 fixed mine positions are canceled, and more than 200 operators are reduced. The construction helps to reduce the labor costs by 40 million yuan/a, save the industrial water and electricity consumption by 30%, improve the equipment utilization by 5%, and increase the total workforce efficiency by 10%. It is pointed out that the key points of intelligent mine construction are broadening the network channel, unifying the interfaces of various subsystems, ensuring the associated equipment safe and reliable, and hiring professional personnel teams. This paper summarizes the current difficulties in the intelligent mine construction and discusses the key technologies to be tackled. The technologies include automatic coal cutting, personnel detection of mobile equipment, wireless sensing, centralized refueling, intelligent security inspection at the mine entrance and unmanned driving.

Key words: intelligent mine; coal mine intelligence; intelligent fully mechanized mining; intelligent excavation; intelligent transportation; intelligent power supply; intelligent water supply and drainage; 5G

收稿日期:2020-10-25;修回日期:2021-02-03;责任编辑:李明。

作者简介:任文清(1984—),男,陕西神木人,工程师,硕士,现主要从事矿井自动化建设工作,E-mail:renwenqing0913@163.com。

引用格式:任文清,高小强.智能矿山建设实践及关键技术[J].工矿自动化,2021,47(2):116-120.

REN Wenqing,GAO Xiaoqiang. Construction practice and key technologies of intelligent mine[J]. Industry and Mine Automation, 2021,47(2):116-120.

0 引言

当前煤炭行业正处于全面建成智能矿山的关键时期^[1-2]。针对煤矿智能化建设现状及关键技术,国内外学者进行了大量研究与探索。潘涛等^[3]详细介绍了智能矿山发展历程及规划,并以神华神东煤炭集团有限责任公司大柳塔煤矿、榆家梁煤矿、上湾煤矿和锦界煤矿为例,从智能工作面开采、智能选煤厂、煤矿机器人等方面进行深入剖析,得出了智能矿山建设的意义。韩建国^[4]概述了智能矿山的内涵,设计了适用于神华集团智能矿山的5层架构,并阐述了“智慧”与“能力”平台建设概念,以大数据为挖掘工具,为煤矿企业管理层制定决策提供数据支持。文献^[5-9]阐述了国内外智能化矿山建设现状、发展规划与技术路径,对煤矿综采、掘进、运输、机电、通风等系统的智能化技术进行研究,将空间信息处理、物联网、大数据、虚拟现实、云计算等技术应用到煤矿井下,实现采掘一线少人化、固定岗位无人化、安全生产智能化,有效提升煤矿智能化建设水平。

通过检索国内外文献可知,当前对智能矿山概念、发展规划的研究较多,对于智能化建设成果和关键技术的研究相对较少。本文以大柳塔煤矿智能化建设为例,论述了综采、掘进、运输、供电、供排水等系统的智能化建设情况,指出了目前我国智能矿山建设面临的难题,提出了技术攻关方向,为实现智慧煤矿积累经验。

1 智能矿山概述

智能矿山以信息化建设为基础,以自动化建设为手段,融合5G通信、物联网、云计算、大数据、智能传感、人工智能等先进技术,最大程度地减少井下作业人数,改善矿井员工作业环境,提高工作效率,并打造跨系统多维度的数据分析平台,为管理层制定矿井发展方向与决策提供可靠数据支持^[10-11]。

智能矿山建设技术架构如图1所示,其包括感知层、传输层、数据层、平台支撑层和应用层。

感知层将前端感知的视频监控数据、安全监测数据、生产自动化数据等通过串口、网关、PLC、综合分站、移动设备等进行集中采集。传输层利用井上下工业环网、视频专网、4G/5G无线网络等对感知数据进行传输。数据层按照统一标准对感知层数据进行分类存储。平台支撑层基于实时数据和业务需求进行数据抽取、数据可视化、大数据分析等,提供基础技术支撑服务、数据管理支撑服务、数据共享与交换服务、应用与分析支撑服务。应用层提供面向业务应用的服务,主要包括基于时空GIS“一张图”

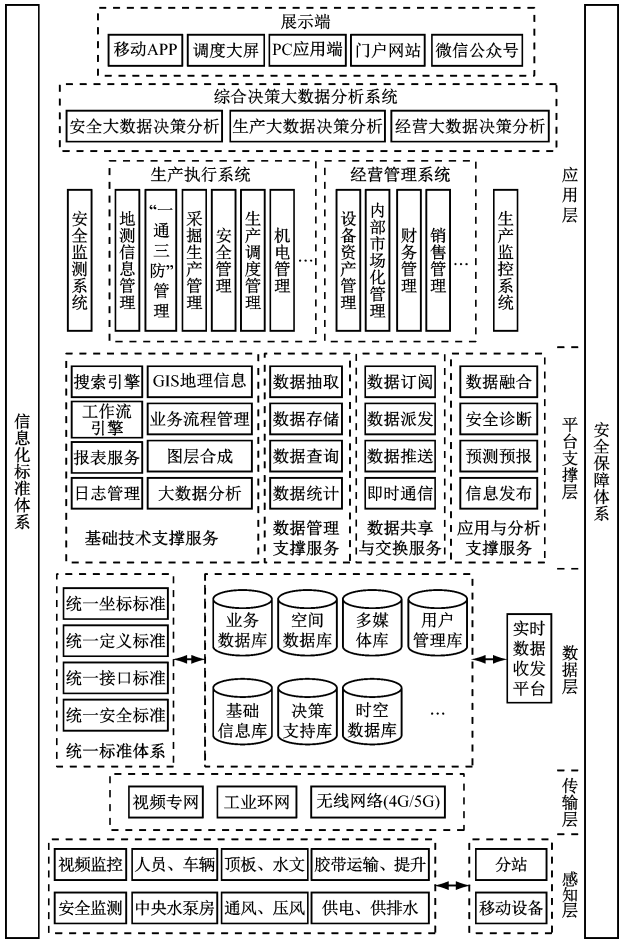


图1 智能矿山建设技术架构

Fig. 1 Technical structure of intelligent mine construction 的安全监测系统、基于时空GIS“一张图”的生产监控系统、生产执行系统、经营管理系统及综合决策大数据分析系统,并通过调度大屏、PC应用端、门户网站、移动APP等方式进行展示,PC应用端、门户网站和移动APP均可基于权限控制实现煤矿不同用户需求。

2 大柳塔煤矿智能化建设实践

2.1 基础网络建设

大柳塔煤矿建成了井上下生产环网,保障数据可靠传输。以52煤为例,在井下中央变电所、五盘区变电所、加压泵房、六盘区变电所分别布置万兆环网交换机,形成一个环形结构,在中央变电所至地面铺设2趟光缆,形成井上下生产环网。在井下变电所、带式输送机机头、运输巷及采掘工作面分别布置4G综合分站,形成“一网一站”。4G综合分站是集无线通信、车辆定位、人员定位、语音IP电话、语音广播和数据交换、数据采集等业务于一体,将互联网、电信网与广播电视网“三网融合”,具有视频图像实时监控、运行数据动态监测、语音通信即时沟通功能的综合信息化网络管理平台^[12-13]。在掘进工作

面布置 5G 通信系统,其由地面核心网、IP RAN (Radio Access Network,无线电接入网)、基带控制单元、远端数据汇聚单元、微型射频拉远单元等组成,为智能矿山建设提供低时延、大带宽传输网络。

2.2 综采工作面智能化建设

综采工作面智能化建设包括工作面巷道集控中心智能化建设和工作面智能化建设 2 个方面。工作面巷道集控中心智能化建设主要完成工业网络搭建和集控室软硬件建设,实现采煤机、刮板输送机、转载机、破碎机、液压支架、泵站、组合开关、移动变电站集控,以及矿压、采煤机位置及割煤刀数、煤流运输等数据的跨系统多维度分析。工作面智能化建设主要实现液压支架自动化跟机和采煤机自主割煤。液压支架自动化跟机通过自动识别采煤机位置,触发液压支架跟机程序,实现自动拉架、推溜和伸收护帮板功能。采煤机自主割煤是基于人工智能的预测算法,通过安装在采煤机机身上的位置传感器、采高传感器和俯仰摇摆传感器,以及十二工步割煤工艺(图 2)逻辑控制,实现采煤机自主割煤。

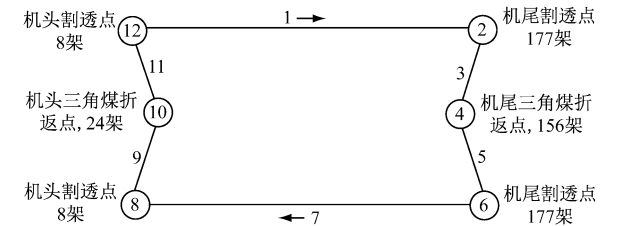


图 2 十二工步割煤工艺流程

Fig.2 Cutting process of twelve steps

2.3 掘进智能化建设

掘进智能化建设包括掘进工作面运输、供电、供风系统集成,工作面连采机自动化生产,破碎机与梭车自动化联动,锚杆机自动化支护等方面的建设。大柳塔煤矿 8 个工作面运输、供电、供风系统实现了集控,取消掘进工作面运输系统固定岗位 26 个,减员 50 余人,同时制定了设备开机率报表,为生产管理人员提供指导性数据。掘进工作面智能化实现了连采机基于 5G 传输网络、惯导和负载敏感等技术的远程控制和自主割煤功能及破碎机与梭车联动启停功能,并通过引进两臂自动锚杆机实现了锚杆自动定位、自动打钻、自动锚固功能,支护单根锚杆时间由 5 min 缩短至 3 min,支护效率提升 40%。

2.4 主运输智能化建设

主运输智能化建设实现了带式输送机、给煤机集控,带式输送机滚筒温度、振动在线监测,带式输送机供配电集控功能,开发了带式输送机手持式智能监控软件、地面集控室监测系统和井下巡视工监控系统。带式输送机可基于视频自适应调速,降低

了空转率。以某一部 1 700 m 带式输送机为例,调速范围为 2.7~4.0 m/s,日节约用电约 500 kW·h。针对部分关键带式输送机,引进智能巡检机器人技术,对带式输送机堆煤、跑偏、异物等进行检测,巡检机器人搭载红外热成像仪,监测带式输送机电动机、减速机、滚筒、托辊等设备的温度,以发现设备故障前期的发热现象,为带式输送机安全运行提供支持。钢丝绳牵引式智能机器人巡检画面如图 3 所示。



图 3 智能机器人巡检画面

Fig.3 Intelligent robot inspection screen

2.5 供电智能化建设

煤矿变电所已实现无人值守。五盘区变电所引进轨道式智能巡检机器人,按预设时间定时巡检变电所各高压柜运行状态及周围环境,解决固定视频监控死角问题;可与自动化系统联动,当某台高压柜发生故障时,机器人自行移动至柜前进行巡查;可对高压柜合闸操作人员进行人脸识别确认,代替传统的操作票制度;可对高压柜操作情况进行视频录像,在员工因操作失误造成事故后,可查看监控视频进行追查;监测到环境气体超限时,可自动切断供电电源。

2.6 供排水智能化建设

煤矿供排水泵房已实现无人值守。五盘区水泵房引进智能巡检机器人,实现水泵房红外热成像、自主巡视和仪器仪表自主识别等功能。零星排水点 33 台水泵实现集控,计划 2 a 内实现管路沿线压力、流量在线监测和自动均衡排水。

大柳塔煤矿于 2010 年建成了可充分利用采空区空间储水及采空区矸石对水体进行过滤净化、自然压差输水的循环、环保、节能、效益型分布式地下水库,储水约 710.49 万 m³,且已建成智能监测监控系统,实现了矿井水不外排,有效保护了地下水资源^[14]。计划 2021 年 6 月前在 52 煤五盘区建 1 个储量约 1 800 万 m³ 的地下水库,实现水库智能监测监控,保证水库安全运行。

2.7 辅助运输智能化建设

在辅助运输车辆上加装雷达、摄像机等设备,自主感知识别车辆 50 m 范围内人、车及障碍物,在司

机误操作或无法操作制动踏板的情况下,主动报警、减速、制动,保护井下人员及车辆安全;实现了驾驶员疲劳监测功能,实时监视驾驶人员行为,对危险驾驶行为进行告警;实现了智能限速识别功能,可有效规范井下道路驾驶行为,从技术上杜绝超速驾驶。智能辅助运输视频监控画面如图4所示。



图4 智能辅助运输视频监控画面
Fig. 4 Video monitoring screen of intelligent auxiliary transport

3 智能矿山建设关键点

- (1) 拓宽网络通道。目前煤矿采用的4G网络通信速率为上行40 Mbit/s、下行100 Mbit/s,传输数据时正常,传输视频时卡顿。需建设井下5G网络(上行速率300 Mbit/s,下行速率2 000 Mbit/s),传输数据及视频图像时速度快,更易于实现智能矿山。
- (2) 统一各子系统接口。现有的采掘设备数据传输接口有RS485、CAN、以太网等10余种,其中以以太网接口具有数据采集方便、接入环网容易、数据传输稳定等特点,因此应尽快推广设备以太网接口。
- (3) 各种关联设备安全可靠。智能矿山建设投入的设备必须安全可靠,保证数据真实性及数据传输的稳定性。
- (4) 专业人才队伍齐备。需培养、配齐专业的智能矿山网络工程师、软件工程师、大数据分析工程师等。

4 智能矿山建设难点

- (1) 缺乏顶层设计。只提出了建设目标,未对目标进行细化,煤矿在推进智能化建设过程中没有统一标准。
- (2) 目前矿井在用设备种类多,设备生产厂商多,各厂商的设备技术参数、通信接口、通信协议不统一,互联互通性差,导致智能矿山建设过程中系统集成和数据融合困难。
- (3) 矿井已建成的信息化子系统较多,已基本实现机电设备基础数据上传功能,但仍未实现数据进一步分析、决策、推送等功能,在大数据挖掘与利

- 用方面需不断完善。
- (4) 缺乏从事智能矿山建设工作的专业人才,且参与智能矿山建设的厂家技术力量参差不齐,不利于构建专业化服务模式。
- (5) 矿用传感器种类少,部分传感器故障多、可靠性差,且现有监测设备未实现自主学习、分析功能。
- (6) 部分设备老旧,无传输接口,需进行升级改造;网络设备供电不稳定且故障多,影响数据传输的稳定性。
- (7) 在地面上技术成熟的设备因防爆认证等问题难以应用于井下。
- (8) 部分煤矿企业领导对于智能矿山建设的认知仍以减人为目标,在非减人项目上缺乏创新的积极性,阻碍智能矿山的推进。

5 智能矿山建设需攻坚的关键技术

- (1) 采煤机自主割煤技术,特别是煤岩识别、采煤机与液压支架数据交互、机器人巡检等技术。
- (2) 连采机自主割煤技术。特别是连采机姿态定位技术需进一步优化,实现连采机自主生产,提升巷道掘进工程质量和掘进效率。
- (3) 移动设备人员接近探测技术。在掘进工作面移动设备上加装360°全景影像辅助识别设备,当监测到掘进设备周围有人员接近时发出警报,避免人员伤害。
- (4) 无线传感技术。如设备无线温度、振动等状态监测技术,工作面环境无线监测技术等,以减少人员工作量,保证现场作业安全。
- (5) 智能油脂集中润滑、集中加油技术。根据油位、油压、油质等监测数据,实现自动加油或注油,减轻现场工作人员的劳动强度。
- (6) 井口智能安检技术。通过建设安检系统实现人员和车辆管控、车辆重点部位识别、下井人员和车辆记录、车辆闯红灯拍照记录等功能。
- (7) 梭车无人驾驶技术。在梭车上方安装激光雷达,基于先进算法,实现梭车自动定位、自主建图、路径规划。中央控制器不断采集角度传感器、速度传感器、堆煤传感器、人体感应传感器数据,对数据进行分析处理后发出控制指令至执行系统,实现梭车接煤、运煤、卸煤各环节自动运行。

6 结论

- (1) 分析了当前智能矿山研究现状,阐述了智能矿山建设感知层、传输层、数据层、平台支撑层和应用层的5层技术架构体系,分析了各层建设内容。

(2) 以大柳塔煤矿为例,集中展示了综采、掘进、运输、供电和供排水智能化建设状况。煤矿智能化建设过程中,共取消井下固定岗位约 100 个,减少作业人员 200 余人,降低人工成本 4 000 万元/a,节约工业水电消耗 30%,提高设备利用率 5%,提高全员工效 10%。

(3) 分析了当前智能矿山建设的关键点和难点,从采煤、掘进、人员及设备感知、无线通信、无人驾驶等方面提出了下一步需要攻坚的关键技术。

参考文献(References):

[1] 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.

[2] 高士岗,高登彦,欧阳一博,等.煤矿智能一体化辅助生产系统及关键技术[J].煤炭科学技术,2020,48(7):150-160.
GAO Shigang, GAO Dengyan, OUYANG Yibo, et al. Mine intelligent integrated auxiliary production system and key technologies [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7):150-160.

[3] 潘涛,赵永峰,丁涛,等.国家能源集团智能矿山建设实践与探索[J].中国煤炭,2020,46(5):30-40.
PAN Tao, ZHAO Yongfeng, DING Tao, et al. Practice and exploration of intelligent mine construction in China energy group[J]. China Coal, 2020, 46(5):30-40.

[4] 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.

[5] 杨丽.神南矿区智能化矿山设计及建设[J].煤矿开采,2017,22(3):106-109.
YANG Li. Intelligence mine design and construction of Shennan mine district [J]. Coal Mining Technology, 2017, 22(3):106-109.

[6] 王国法,庞义辉,任怀伟.煤矿智能化开采模式与技术路径[J].采矿与岩层控制工程学报,2020,2(1):5-19.
WANG Guofa, PANG Yihui, REN Huaiwei. Intelligent coal mining pattern and technological path [J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2020, 2(1):5-19.

[7] 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.

[8] 马小平,杨雪苗,胡延军,等.人工智能技术在矿山智能化建设中的应用初探[J].工矿自动化,2020,46(5):8-14.
MA Xiaoping, YANG Xuemiao, HU Yanjun, et al. Preliminary study on application of artificial intelligence technology in mine intelligent construction [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(5):8-14.

[9] 钱建生,胡青松.智能煤矿建设路线与工程实践[J].煤炭科学技术,2020,48(7):109-117.
QIAN Jiansheng, HU Qingsong. Construction routes and practice of intelligent coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7):109-117.

[10] 张亚军.浅析我国智能矿山的现状与未来[J].水能经济,2015(10):186.
ZHANG Yajun. Brief analysis of the current situation and future of intelligent mines in China[J]. Hydraulic Economy, 2015(10):186.

[11] 罗香玉,李嘉楠,郎丁.智慧矿山基本内涵、核心问题与关键技术[J].工矿自动化,2019,45(9):61-64.
LUO Xiangyu, LI Jianan, LANG Ding. Basic connotation, core problems and key technologies of wisdom mine [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(9):61-64.

[12] 任文清.4G 无线网络通信技术在大柳塔煤矿的应用[J].陕西煤炭,2018,37(3):94-98.
REN Wenqing. Application of 4G wireless network communication technology in Daliuta Coal Mine[J]. Shaanxi Coal, 2018, 37(3):94-98.

[13] 任文清.基于 PSIMining 区域中央自动化控制技术的研究与应用[J].陕西煤炭,2017,36(6):19-23.
REN Wenqing. Research and application of regional central automation control technology based on PSIMining[J]. Shaanxi Coal, 2017, 36(6):19-23.

[14] 陈苏社,黄庆享,薛刚,等.大柳塔煤矿地下水库建设与水资源利用技术[J].煤炭科学技术,2016,44(8):21-28.
CHEN Sushe, HUANG Qingxiang, XUE Gang, et al. Underground reservoir construction and water resources utilization technology in Daliuta Coal Mine [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44 (8): 21-28.