

文章编号: 1671-251X(2021)S2-0070-06

大柳塔煤矿智能矿山建设实践

梁占泽

(国家能源神东煤炭集团有限责任公司 大柳塔煤矿, 陕西 神木 719315)

摘要:以神东煤炭集团大柳塔煤矿智能化建设为例,探讨了智能矿山建设内涵与应用架构,介绍了大柳塔煤矿在已建成的全矿井自动化系统基础上,利用矿用机器人技术、5G 通信技术、AI 技术等对连续采煤机煤巷掘进工作面、机器人智能巡检、井下智能手机安全隐患排查整改、生产作业环境远程视频智能分析等方面的智能化改造实践,给出了智能矿山建设中存在的问题:矿井在用设备由多厂商供货,设备技术参数、通信接口不统一;部分设备老旧无传输接口,需大量改造、升级;矿用传感器种类不齐全,部分传感器故障多、可靠性差;网络设备供电不稳定且设备故障多,影响数据传输的稳定性。指出要从智能矿山全面实现智慧矿山,还需要借助新的物联网技术、机器人技术、5G 通信技术、AI 技术等,推进智能地质保障系统、智能开采系统、智能辅助运输系统、智能通风与压风系统、智能供电系统、智能供排水系统、智能洗选系统等建设。

关键词:智能矿山;全矿井自动化;矿用机器人;大数据;5G 通信;人工智能

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Intelligent mine construction practice of Daliuta Coal Mine

LIANG Zhanze

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

0 引言

我国是煤炭资源大国,长期以来,煤炭在我国一次能源消耗中占比 60% 以上,是重要的战略能源和工业原料,煤炭的高效、安全生产是国民经济健康可持续发展的重要保障^[1-2]。近年来,在国家层面大力支持引导下,在地方部门和煤炭企业、社会各界的共同努力下,煤矿智能化建设取得显著成效^[3-4]。运用先进的信息化技术、自动化技术,借助物联网、大数据和云计算最新发展成果构建智能矿山,有力推动了煤炭行业转型升级和高质量发展^[5-7]。

李艺等^[8]分析了矿山智能化发展现状,系统阐述了当前矿山智能化亟需突破的瓶颈及 5G 技术在矿山应用的必要性,并从性能指标与关键技术的角度探讨了 5G 技术。马小平等^[9]从人工智能技术角度对智能矿山进行探讨,设计了基于人工智能技术的智能矿山架构,并探索了人工智能技术和矿山子系统的深度融合。张帆等^[10]研究了数字孪生技术在智能矿山中的应用,为 AI 技术在智能矿山应用落地提供思路,为未来智能矿山新工科建设提供理论借鉴。崔亚仲等^[11]分析了神东智能矿山的大数

据平台架构、大数据平台的物理架构以及总体架构建设中的应用案例,提出智能矿山大数据应从矿山安全管理、生产执行、经营管理等领域进行应用研究,给出了我国在智能矿山建设过程中的建议。解海东等^[12]提出了一种基于物联网的智能矿山体系架构方案,详细介绍了矿山物联网的结构及智能矿山应用体系的构建。该方案对煤炭企业建设物联网系统具有一定的参考作用。阎俊豪等^[13]以车联网在智能煤矿中的应用为例,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进行了分析和探讨。

本文以国家能源神东煤炭集团有限责任公司大柳塔煤矿智能矿山建设实践为例,探讨了智能矿山建设内涵与应用架构,介绍了大柳塔煤矿在已建成的全矿井自动化系统基础上,利用矿用机器人技术、5G 通信技术、AI 技术对连续采煤机煤巷掘进工作面、机器人智能巡检、井下智能手机安全隐患排查整改、生产作业环境远程视频智能分析等方面进行的智能化改造实践探索,并指出了智能矿山建设中的不足与难题。

收稿日期:2021-02-02;责任编辑:王晖。

作者简介:梁占泽(1982—),男,陕西横山人,工程师,主要研究方向为矿井自动化建设,E-mail:zhanze.liang@126.com。

1 智能矿山建设内涵与应用架构

智能矿山是煤炭行业在数字矿山基础上,在大数据、人工智能等前沿科技兴起的背景下,对矿井信息化、自动化技术升级需求提出的新概念^[14-15]。智能矿山建设是技术创新与体制创新、管理创新的有机结合,是对现有煤矿生产管理模式和管理理念的一次重大变革。

如图 1 所示,智能矿山建设以一体化平台为基础,通过综合智能一体化生产控制和生产管理 2 个系统,对生产运营、销售等全过程进行数字化表达,对业务流程进行优化、固化,实现信息采集全覆盖、数据资源全共享、统计分析全自动、业务管理全透明、人机状态全监控、生产过程全记录。

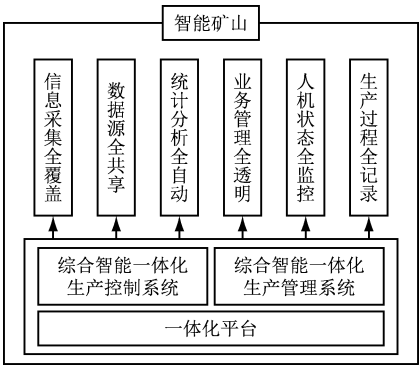


图 1 智能矿山建设内涵

具有代表性的智能矿山构架自下而上分为 5 层:基础设备层、控制层、生产执行层、经营管理层、决策支持层,如图 2 所示。

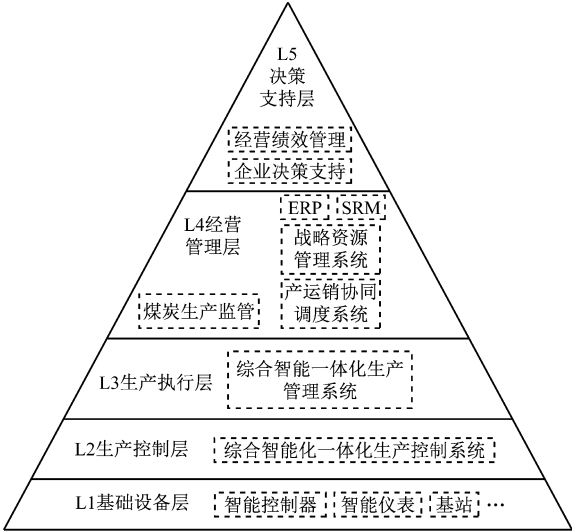


图 2 智能矿山应用架构

基础设备层是智能矿山基础数据的来源和受控单元。生产控制层是智能一体化的生产综合监控系统,主要完成对矿井现场监测与监控子系统数据的集成和联动控制,提供数据分析和可视化展示,起到承上启下的作用。生产执行层主要服务于生产经营

单位,其功能分为业务功能和技术功能。经营管理层是为各级业务管理提供数据和管理通道的模块化业务管理集群。

2 煤矿智能化建设现状

大柳塔煤矿是全国最早一批进行智能化改造和建设的特大型矿井,包括大柳塔井和活鸡兔井。采用平硐开拓方式、壁式一次采全高、全部垮落法采煤,年产量在 3 300 万 t 以上。

大柳塔煤矿从 1997 年开始逐步建设信息自动化系统,目前已建成了“一网一站”、安全监测监控系统、LCS(区域煤矿集中控制)生产控制系统、生产执行系统等 21 个子系统。

“一网一站”,即井上、下万兆生产控制环网与一体化综合通信分站,集无线通信、人员定位、应急广播、数据采集和数据交换等业务,形成一个具有运行数据动态监测,视频图像实时监控,语音通信及时沟通的综合信息化网络管理平台。

LCS 生产控制系统包括矿井采、掘、机、运、通、洗选等各主要生产系统,实现了各生产系统的集中显示、数据监测存储、远程控制、故障报警、综合分析等功能。

生产执行系统是将各个生产单元内的数据信息集成起来,实现对采矿过程开采掘进、交通运输、机械管理、材料能源、排水通风、质量控制与安全控制等一系列的统一化管控,使煤矿生产中的各种要素得到精细化的管控。

经营管理信息化包含绩效考核系统、考勤管理系统、考试管理系统、企业 ERP 系统、简道云等系统。

3 项目智能化改造实践

大柳塔煤矿先后对煤巷掘进工作面、胶带运输机机器人巡检、水泵房机器人巡检、变电所机器人巡检、辅助驾驶系统、智能手机安全隐患排查整改、生产作业环境远程视频分析等多个生产作业进行智能化改造,实现了环境恶劣、危险的掘进工作面掘、锚、运远程联动控制。

3.1 基于 5G 通信技术的智能化煤巷掘进工作面示范建设

煤巷掘进约占煤矿巷道总工程量的 70%,掘进工作面设备主要由连采机、梭车、铲车、锚杆机、胶带运输机等组成。工作面设备关联度高,需要多台设备联合作业。工作面空间狭小、地形复杂、照明度差,作业人员视线受阻,作业过程中设备噪音大,作业人员很难准确观察周围情况,极易发生人身伤害

安全事故。

为建设具有全球竞争力的世界一流能源集团的新战略,集团公司明确提出加快智能化矿山建设总体要求,并下发了《国家能源集团智能矿山建设实施方案》,其中明确要求进行智能化掘进工作面示范工程建设,为此,联合多家企业开发智能化掘进工作面示范工程设备。

3.1.1 5G 通信系统

为了满足掘进工作面各设备之间的通信要求,基于矿井 5G 通信技术对掘进工作面进行了改造。工作面采用惯性导航系统+激光引导+光学测距技术、红外热成像技术、负载电流数据挖掘技术改造煤巷掘、锚、运设备,实现了连续采煤机自动化割煤、全自动两臂组合式智能锚杆钻车自动支护、胶带输送机空载可视可控自动化管理。

5G 通信系统由地面的 5G 核心网设备、5G 矿用隔爆型基站控制器(基带控制单元(BBU)+远端数据汇聚单元(RHUB)、5G 矿用隔爆兼本安型无线基站(微型射频拉远单元(pRRU)、5G 矿用隔爆兼本安型信号转换器(CPE)、5G 矿用本安型手机等产品构成。

3.1.2 智能掘进连续采煤机自动化割煤方案

连续采煤机自动化系统硬件组成如图 3 所示。



图 3 连续采煤机自动化系统硬件组成

(1) 运动控制

采用惯性导航系统+激光引导+光学测距的核心技术,实现连续采煤机定位定姿,通过“惯性导航技术”、多种传感器、音视频、负载敏感等感知融合技术代替司机的视觉、听觉、触觉信息。

连续采煤机运动控制功能包括:① 确保单刀前进/后退时按照规定的基线方向走直线;② 连采机从左帮到右帮的调机功能;③ 扫帮时的巷道宽度保证。在单刀进刀时,以实时获取的连续采煤机的航向角信息为测量输入量,采用 PID 算法控制 2 条履带的行走电流大小,确保一旦发生航向角偏移,能及时纠正。

(2) 截割控制

截割控制目前是结合大柳塔煤矿提供的截割工

艺文件和连续采煤机师傅们的建议,采用了 13 步截割法。

(3) 调机控制

调机控制采用了“N×V 型”调机法,主要是通过连续采煤机的旋转、退机、前进等组合操作,实现连续采煤机的平移。

连续采煤机自动化系统完成智能化改造后,自动化割煤时间是自驾割煤的 2 倍左右,自动化移机时间尺是自驾移机的 6 倍,减轻了工人劳动强度,并免受粉尘、噪音的侵害。锚杆支护效率提高 40%。

3.1.3 智能支护及运输系统

全自动两臂组合式智能锚杆钻车是一种集自动钻锚、自动间距定位、自动行走与排距定位等功能于一体的全自动锚杆支护设备,可实现智能支护。该设备主要由锚网仓、横向伸缩架、自动钻臂、操纵台、主机架、履带行走部、卷缆器及控制系统组成。

胶带输送机集中控制及空载可视可控管理:在掘进系统集成运行管理平台设置额定电流,当胶带输送机在空载状态下馈电开关电流大于设置电流时,系统开始自动计时并自动识别为胶带输送机空载运行,并将空载状态下的运行时间自动统计在 PSI 系统,值班人员以日报表和月报表的形式自动推送相关单位。掘进工作面胶带输送机空载运行实现可视化。

智能化改造试运行后发现还存在需要完善的方面,主要是掘进连续采煤机自动化割煤过程中,激光导引装置导向距离约为 40 m,生产过程中倒设备频繁,需进一步研究增加导向距离的方法;连续采煤机上跟机视频设备采用电缆传输,缺少电缆收放装置,连续采煤机倒机时需人工辅助拉电缆,需要摄像无线传输;全自动两臂组合式智能锚杆钻车,因巷道支护使用的网片结构形式多样且铺网、链网工艺复杂,自动铺网、链网的功能还需要研究改进。

3.2 机器人智能巡检

从 2005 年开始,大柳塔煤矿井下变电所、水泵房已实现无人值守,主煤流胶带输送机已实现地面集控,但仍需安排人员定期巡查,因为还存在设备运行监测、监视盲区,如胶带输送机托辊、无法联网设备、视频监视死角。

为解决无人巡检问题,在大柳塔煤矿五盘区变电所安装矿用轨道巡检机器人、五盘区排水泵房安装矿用轮式巡检机器人、大柳塔煤矿运转二队南翼一部胶带输送机安装矿用钢丝绳牵引轨道式巡检机器人,实现机器人巡检。改造后的五盘区变电所及水泵房现场如图 4 所示。



图 4 改造后的五盘区变电所及水泵房现场

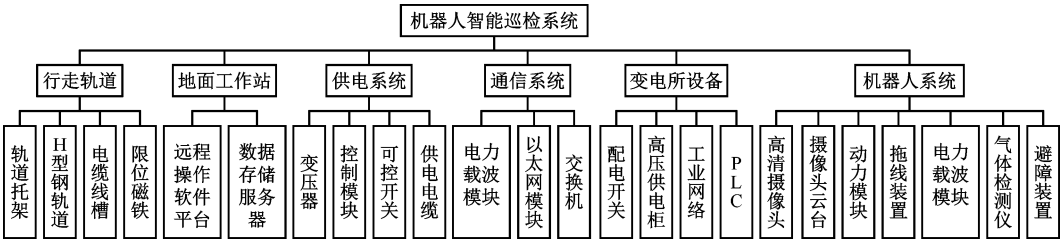


图 5 变电所机器人智能巡检系统组成

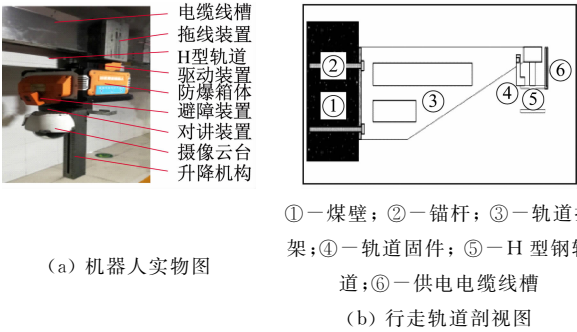


图 6 机器人实物图与行走轨道剖视图

巡检机器人本体组成。以磁性轨道与磁性标签为导航,适用于设备分布不规则的巡检环境,最大运行速度 0.5 m/s,最大爬坡角度 20 °;搭载红外热像仪及可见光摄像仪的双视云台,可以实现 0.5 m 的高度提升,360 °连续旋转;安装了避障传感器,感知范围 2 m;采用 2.4 GHz 频率无线通信基站,覆盖范围 150 m;具有自主充电功能;按照既定路线或远程控制开展巡检工作。

3.2.3 胶带输送机巡检工作智能化

轨道式巡检机器人用于胶带运输机的巡检工作中,依靠驱动轮和钢丝绳之间的摩擦进行运动。具体安装方式:在胶带输送机行人侧顶板打锚杆,将机器人驱动部、张紧部、轨道系统安装在顶板锚杆上,并吊挂好钢丝绳、智能巡检机器人。

机器人搭载红外热成像仪、烟雾探测传感器、多气体探测传感器、高清拾音器及高分贝扬声器等设

3.2.1 变电所巡检工作智能化

如图 5 所示,变电所机器人智能巡检系统主要由行走轨道、地面工作站、供电系统、通信系统、变电所设备、机器人系统组成。

由于变电所设备呈直列式分布,所以在设备观察窗方向装设水平直线轨道即可保证机器对设备的巡检全部覆盖。由于 H 型钢轨道及矿用防爆机器人质量过大,行走过程中晃动剧烈,为提升轨道承载能力以及机器人行走稳定性,在煤壁打锚杆固定轨道托架,由托架及支撑件悬吊 H 型钢轨道,如图 6 所示。

3.2.2 水泵房巡检工作智能化

水泵房轮式巡检机器人系统由磁导航装置、自动充电装置、无线通信基站、地面上位机工作站以及

备,对视野范围内设备进行红外热成像并显示报警、检测巷道环境中烟雾浓度、监控井下 CO/CH₄/O₂/H₂S 气体浓度、采集现场工况声音等。机器人巡检信号通过无线信号接入井下 4G 综合分站,传送至地面服务器,上位机监控软件实现对井下智能巡检机器人数据信息的实时监控。

机器人采用钢丝绳牵引发电方式,无需充电,解决了煤矿井下电池组及不能部署充电桩问题,真正实现 24 h 无人值守巡检。

轨道式巡检机器人可代替巡检工人进行设备及环境巡检,尤其是大倾角、长距离、高湿度的煤矿巷道,能够有效减轻工作人员的劳动强度,降低巡检过程中存在的安全隐患。

3.3 井下智能手机安全隐患排查整改

根据《煤矿安全生产标准化管理体系基本要求及评分方法》要求,各矿都须安检人员下井检查,并将检查结果通过上井人工汇总或通过专用信息汇总后,督促相关部门整改。这种检查方式存在时效性差和闭环困难等问题。

大柳塔煤矿 2020 年建立“大柳塔煤矿安全生产标准化图片群”,用智能手机拍照制作成 PPT,通过矿井无线 4G 网络实时发送至“大柳塔煤矿安全生产标准化图片群”内汇总、通报、整改闭环智能应用。PPT 内容包括:检查时间、责任区队、查找的问题、对照检查的标准及整改期限。质量组每天将所有问

题汇总后在早调会上通过矿会议室大屏幕进行循环播放,区队收到问题后按标准进行整改,整改后同样也以图片的形式发送至“大柳塔煤矿安全生产标准化图片群”内闭环。该应用提高了全矿员工的安全生产标准化意识,进一步提高了矿井安全生产标准化水平。

3.4 生产作业环境远程视频智能分析

在现有的矿井工业电视监控系统中,通常在入井口、候车点、胶带输送机给煤点、转载点等关键地点安装大量摄像机,通过人工实时图像监控或事后录像查询,来远程判断生产现场工况和进行指挥调度。这种方式不仅工作量大,还存在不及时和遗漏问题,且大量视频数据占用大量网络、存储资源。

大柳塔煤矿借助已有视频监控资源,利用视频智能分析技术手段,建立了生产作业环境远程视频智能分析系统,进行非接触工况故障、员工作业违章、安全隐患智能识别并报警。生产作业环境远程视频智能分析系统搭建了视频 AI 智能分析平台,其 AI 算法搜集视频图像素材,并经过标定、筛选、定义、机器学习等环节,生成视频 AI 算法。

生产作业环境远程视频智能分析系统已应用于矿工安全帽检测、人体属性检测、胶带输送机偏移检测、胶带输送机卡堵检测、胶带输送机大块煤检测、胶带输送机异物检测、胶带输送机空载检测等场合,解决了人工监视漏检、不实时、胶带输送机运行安全保护等问题。具体应用如图 7—图 9 所示。



图 7 胶带机跑偏检测



图 8 未戴安全帽检测

4 问题与推进

(1) 大柳塔煤矿自动化系统建设的 21 个子系统,大多数是各自独立运行,在矿调度室集中显示与控制,在自动化系统智能化改造过程中,需要对关联



图 9 胶带输送机空载检测

设备运行数据、视频监视信号、操作与维检人员作业行为信息等进行大数据分析、决策、推送,发现还存在矿井在用设备由多厂商供货,设备技术参数、通信接口不统一;部分设备老旧无传输接口,需大量改造、升级;矿用传感器种类不齐全,部分传感器故障多、可靠性差;网络设备供电不稳定且设备故障多,影响数据传输的稳定性等问题。

(2) 设备接口通信不统一问题,需要建立行业监控通信标准,增强不同厂家产品替代性,推动产品质量的提高,同时借助建立的大数据和采矿工艺流程中设备关联关系的综合分析,消除监控通信设备不足或故障对生产控制的干扰。

(3) 还需要借助新的物联网技术、机器人技术、5G 通信技术、AI 技术等,推进智能地质保障系统、智能开采系统、智能辅助运输系统、智能通风与压风系统、智能供电系统、智能供排水系统、智能洗选系统等建设,全面实现智慧煤矿。

5 结语

智能矿山平台是当前数字化矿山建设走向智慧矿山的中间阶段。大柳塔煤矿作为国家能源集团、国家煤矿安全监察局审核确定的国家首批智能化示范建设煤矿之一,根据《关于开展首批智能化示范煤矿建设的通知》(国能发煤炭〔2020〕63号)要求,对部分矿井自动化子系统进行了智能化改造探索,取得了较好的效果,后续将在总结经验的基础上持续推进。

参考文献:

[1] 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.
[2] 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.
[3] 张元生,战凯,马朝阳,等. 智能矿山技术架构与建设思路[J]. 有色金属(矿山部分),2020,72(3):1-6.
[4] 李希勇. 山东能源集团智能矿山建设实践[J]. 中国煤炭,2021,47(1):77-82.
[5] 许守信,吕化,任毅,等. 酒钢西沟矿智能矿山建设规

- 划的编制[J]. 矿山机械,2020,48(7):71-75.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 李艺,刘春平,武晓雪. 基于 5G 技术的智能矿山研究及应用[J]. 中国煤炭,2020,46(11):42-48.
- [9] 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.
- [10] 张帆,李闯,李昊,等. 面向智能矿山与新工科的数字孪生技术研究[J]. 工矿自动化,2020,46(5):15-20.
- [11] 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.
- [12] 解海东,李松林,王春雷,等. 基于物联网的智能矿山体系研究[J]. 工矿自动化,2011,37(3):63-66.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 赵国瑞. 煤矿智能开采初级阶段问题分析与 5G 应用关键技术[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):161-167.