

文章编号:1671-251X(2022)S1-0006-05

三道沟煤矿智能矿山建设实践与探索

丁序海

(国家能源集团国神公司 三道沟煤矿, 陕西 府谷 719407)

摘要:国家能源集团国神公司三道沟煤矿在原有数字矿山基础上,对采煤工作面、掘进工作面、主运输系统、排水系统、供配电系统等进行了智能化升级改造,实现了固定岗位无人值守;建立了由生产执行系统、生产集中控制系统、安全集中监测系统组成的智能一体化管控平台,实现了各子系统远程集中控制、系统联动控制和数据集中管理;建立了智控指挥中心,从而构建全矿安全生产指挥中枢,满足智能矿山调度指挥业务的需要。针对智能矿山建设过程中遇到的技术和管理问题,提出下一步将全面深化虚拟现实、人工智能、全息投影、数字孪生、5G、大数据、云计算等智能化技术应用。

关键词:煤矿智能化;智能矿山;智能控制;智能一体化管控平台;智控指挥中心

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Practice and exploration of intelligent mine construction in Sandaogou Coal Mine

DING Xuhai

(Sandaogou Coal Mine, CHN Energy Guoshen Co., Ltd., Fugu 719407, China)

0 引言

2020 年 2 月,国家发展改革委、国家能源局等八部委联合发布了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》^[1],对煤矿智能化建设提出了明确目标、主要任务和保障措施,旨在加快推动智能化技术与煤炭产业融合发展。2020 年 9 月和 2021 年 3 月,陕西省发展和改革委员会先后印发了《陕西省煤矿智能化建设实施方案》和《陕西省煤矿智能化建设指南(试行)》,旨在加快推进全省煤矿智能化建设工作^[2]。作为中央骨干能源企业,国家能源集团为贯彻落实八部委指导意见要求,提升煤矿智能化水平,分别在 2020 年 7 月和 2020 年 11 月印发了《国家能源集团关于加快煤矿智能化建设的实施意见》和《国家能源集团关于进一步加快煤矿智能化建设的通知》,明确提出了“2022 年实现 5 个 100%、2025 年煤矿智能化技术引领行业水平”的奋斗目标^[3],吹响了国家能源集团煤矿智能化全面建设的冲锋号^[4-6]。

三道沟煤矿作为国家能源集团所属大型煤矿,全面贯彻落实国家部委、地方政府和国家能源集团关于煤矿智能化建设相关文件要求,深刻认识到智能矿山建设是实现矿井安全生产的必由之路,能从根本上把煤矿工人从高强度、高体力的工作环境中

解放出来,切实提高煤矿工人安全感、幸福感、获得感。本文介绍了三道沟煤矿智能矿山已建系统,分析了建设过程中存在的问题,并对下一阶段工作进行探索。

1 三道沟煤矿概况

三道沟煤矿于 2008 年建成,井田面积 176.13 km²,资源储量 15.42 亿 t,可采储量 9.27 亿 t,设计产能 900 万 t/a,服务年限 76.3 a。矿井煤炭资源储量丰富,赋存稳定,地质构造简单,共有 7 层可采煤层,主采 5-2 上煤层和 5-2 煤层,煤层瓦斯含量较低。按照国家能源局《智能化示范煤矿验收管理办法(试行)》分类标准,三道沟煤矿属于 I 类煤矿。

矿井采用平硐开拓、单水平开拓全井田,布置主平硐、副平硐及 2 个风井。井下布置胶运巷、辅运巷和回风巷。综采工作面采用走向长壁后退式综合机械化开采,由盘区边界向大巷方向推进。连采工作面采用连续采煤机掘进。采用分区抽出式通风方式、带式输送机主运输方式、无轨胶轮车辅助运输方式、“中央水泵房+主副水仓”的排水系统和“配套电厂+矿属 35 kV 变电站”的双回路供电系统,安全避险“六大系统”功能完善齐全。

收稿日期:2022-04-02;责任编辑:盛男。

作者简介:丁序海(1972—),男,山东龙口人,高级工程师,从事采矿工程和煤矿信息化、自动化方面的工作,E-mail: xuhai.ding@chnenergy.com.cn。

2 智能矿山建设现状

2.1 智能矿山总体架构

参考工业互联网架构理念,遵从国家能源集团

网络安全和信息化“十四五”规划架构要求,在数字矿山总体应用架构基础上,设计智能矿山总体架构,如图 1 所示。

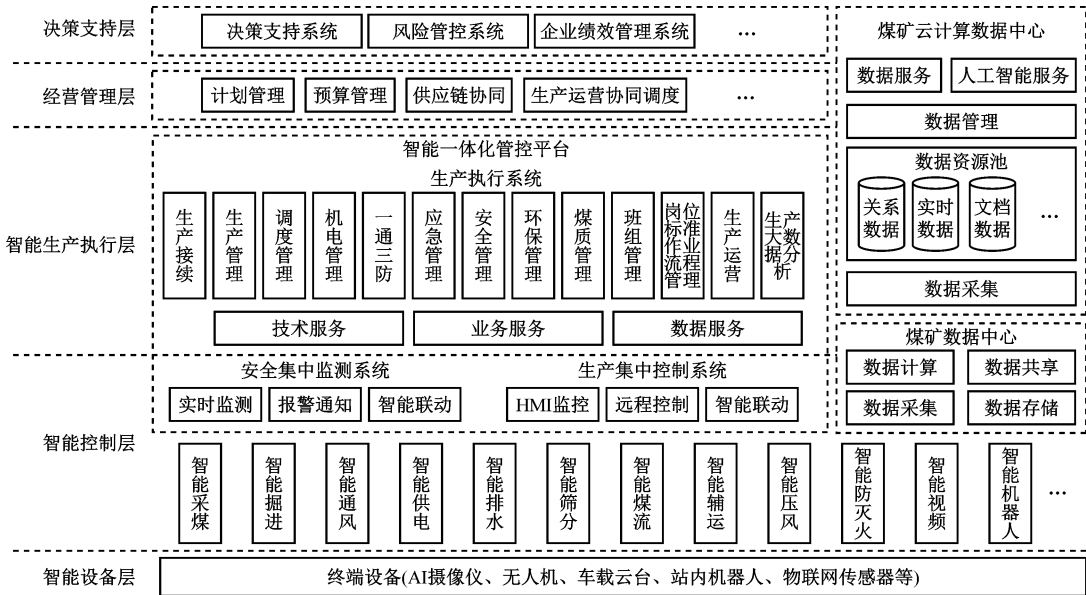


图 1 智能矿山总体架构

智能设备层作为最基础的执行机构,包括人工智能(Artificial Intelligence, AI)摄像机、无人机、车载云台、站内机器人、物联网传感器等。

智能控制层通过设备改造和控制系统升级,形成具备一定智能化功能的生产控制系统或安全感知系统,并通过安全集中监测系统和生产集中控制系统实现平台化功能聚集。

智能生产执行层实现生产设计、计划组织、调度指挥、班组作业等业务高度协同,实现各类流程指令有效转换。生产执行系统与智能控制层安全集中监测系统、生产集中控制系统构成智能一体化管控平台,实现“测、控、管”一体化生产协同管理。

经营管理层和决策支持层实现全集团“人、财、物、产、运、销”集中管理。

煤矿数据中心是智能矿山区别于数字矿山的核心内容,作为边缘侧数据中心,数据中心采集、存储各类安全监测、设备运行、生产业务等实时数据,并与集团煤矿云计算数据中心实现云边协同,为智能矿山各类应用提供数据计算和共享服务。

按国家能源集团信息化总体规划要求,智能生产执行层及以上的系统部署在集团侧,智能控制层及以下的系统部署在煤矿现场侧。因此,重点围绕智能控制层智能控制系统、跨智能控制层和智能生产执行层的智能一体化管控平台、智控指挥中心进行智能矿山建设。

2.2 智能控制系统

2.2.1 智能连采系统

连采工作面涉及连采机、梭车、锚杆机等大型移动设备^[7-8],工作环境存在光照度低、粉尘大等恶劣情况,另外梭车体积较大,驾驶人员盲区大,如有人员误闯入梭车行驶区域,极易发生人员挤伤事故。同时,煤巷岩层顶板压力过大,容易出现冒顶、顶板坍塌等事故。为消除事故隐患,改善操作环境,保障一线作业人员安全,在智能连采系统建设过程中,采用六臂锚杆机支护方式,建立智能连采集控中心,实现连采工作面梭车和破碎机人员接近防护和连锁运行,以及工作面远程控制。

(1) 六臂锚杆机支护。将六臂锚杆机应用于帮锚杆和顶锚索支护。六臂锚杆机钻机臂采用电液控制,具备一键打钻、一键锚固和一键复位功能,实现机械支护代替人工锚头支护,每班 3 人完成 200 套锚杆支护作业。创新塑料网 25 m 铺网工艺,避免铺网作业人员在空帮下作业的风险,减少网片压茬造成的材料浪费,每年节约 4 180 m² 材料。

(2) 电控系统改造。在梭车和破碎机分别安装用于测距的无线发射器和无线接收器,接收器通过检测发射器的信号来测量梭车和破碎机之间距离,当距离到达设定值时,接收器发出信号给电控箱内 PLC。破碎机上增加声光报警装置,在破碎机启动时发出语音报警。破碎机内部增加电源模块、电磁阀驱动板、声光报警装置驱动板等。电控系统结构

如图 2 所示。

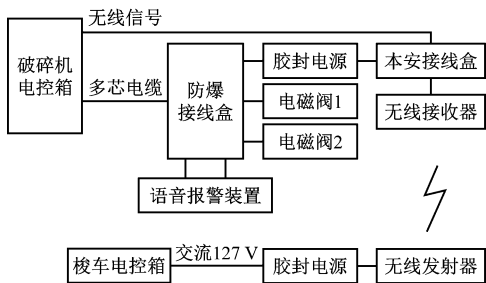


图 2 电控系统结构

(3) 液压系统改造。在原有液压系统基础上,增加 2 组输送机电磁控制阀,以及对应的阀块、截止阀、管路接口、胶管等,实现输送机自动启停。

(4) 红外线热成像摄像机。梭车上安装红外热成像摄像机,将物体表面的热辐射转换为图像显示在显示屏上。由于人体温度远高于周围环境温度,人体可以高亮显示在显示屏上,易于驾驶人员及软件识别。

(5) 基于深度学习的目标动态捕捉识别。采用主流的深度学习目标识别算法 YOLOv3,通过海量井下人员素材训练及算法参数调优,实现井下特定环境中人员精确识别。根据运动模型预估人员轨迹,并抓取待检测人员的局部特征以去除个体差异带来的干扰,结合红外热成像摄像机并通过上位机软件进行预警边界线划定,可有效降低井下复杂环境带来的影响,实现准确预警。

2.2.2 主运输系统

在主运胶带机变频驱动改造的基础上,应用矿用主运输系统智能控制技术,通过增加 AI 视频分析、巡检机器人等手段,实现主运输系统集中管控,达到“有煤跑得快、无煤跑得慢”的智能节能运行目的^[9-10],降低设备故障率,提升主运输系统安全生产效率。

(1) 基于 AI 视频技术的智能煤流监控。智能煤流监控系统由地面视频图像智能分析系统、视频分析服务器、嵌入式边缘计算器、矿用本安型胶带专用智能摄像机、矿用本安型智能枪型摄像机等组成,如图 3 所示。摄像机采集的海量视频图像数据通过高性能服务器进行实时分析,完成对煤流的实时监控。通过 AI 摄像机和专用线性激光标定光源,采集相关场景素材并进行标注。标注的数据可用于以 YOLOv3 目标识别算法为主的快速识别模型训练和识别推理,以及以 Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) 或 SSD (Single-Shot Detector) 算法为主的高精度验证模型进行验证对照。最终选择合适场景的算法模型进行实时监控,并与主运输控制系统进行联动,实现如下功能:

① 煤流调速。检测当前带式输送机是否有煤流通过,实现断面煤量瞬时体积在线测量,叠加采煤机割载速度、刮板输送机煤量,设计主运输监控系统智能动态化的智能控制模型算法,实现带式输送机自动调速,充分利用变频驱动系统节能降耗的功能。

② 强化保护。若检测到异物(如锚杆、钢板、大块矸石等),则系统平台发出语音报警提醒值班人员,同时分析设备发出的电流信号并传送至现场 PLC 控制器,产生报警停机信号,发出现场声光报警或直接闭锁设备停机。

③ 钢丝绳芯在线监测。为真实反映胶带运行情况,预测胶带钢丝绳芯使用寿命,安装钢丝绳芯在线监测装置,通过对胶带内钢丝绳断头及接头等异常情况进行高速扫描,将监测图像上传至后台系统进行图像智能分析、准确预测,为人员检修胶带提供可靠图像和分析结果。

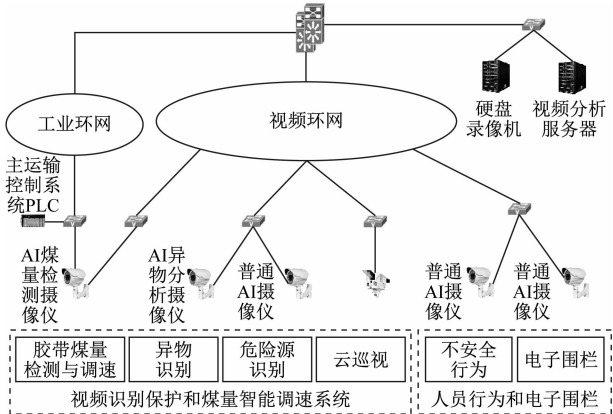


图 3 智能煤流监控系统架构

(2) 带式输送机巡检机器人。轨道式巡检机器人由运行轨道、机器人本体、无线通信基站、智能充电站、视频监控系统及远程操作系统等组成,搭载红外热成像、气体检测、声音、烟雾探测等智能传感器,以及 360°高清云台摄像机、双向语音对讲设备。机器人通过智能传感器及高清热成像摄像机时采集、存储、传输现场图像、声音、温度、烟雾、甲烷等数据,后台对数据进行智能分析,进行精准故障定位,辅助检修工及时发现并处理问题,减轻检修工劳动强度,减少生产过程中非正常停机时间。

2.3 智能一体化管控平台

按照“安全、高效、绿色、智能”的设计理念,通过软件定义矿山、数据驱动业务,采用“云边协同”模式构建全要素联动、全周期迭代的智能一体化管控平台。该平台由生产执行系统、生产集中控制系统、安全集中监测系统组成,如图 4 所示,可实现数据融合集成、业务高效协同,为逐步推进矿井少人化作业,提升安全生产管理效率提供技术保障。

生产集中控制系统在软件设计上采用松耦合、模块化结构,BACS架构结合 C/S 和 B/S 这 2 种架

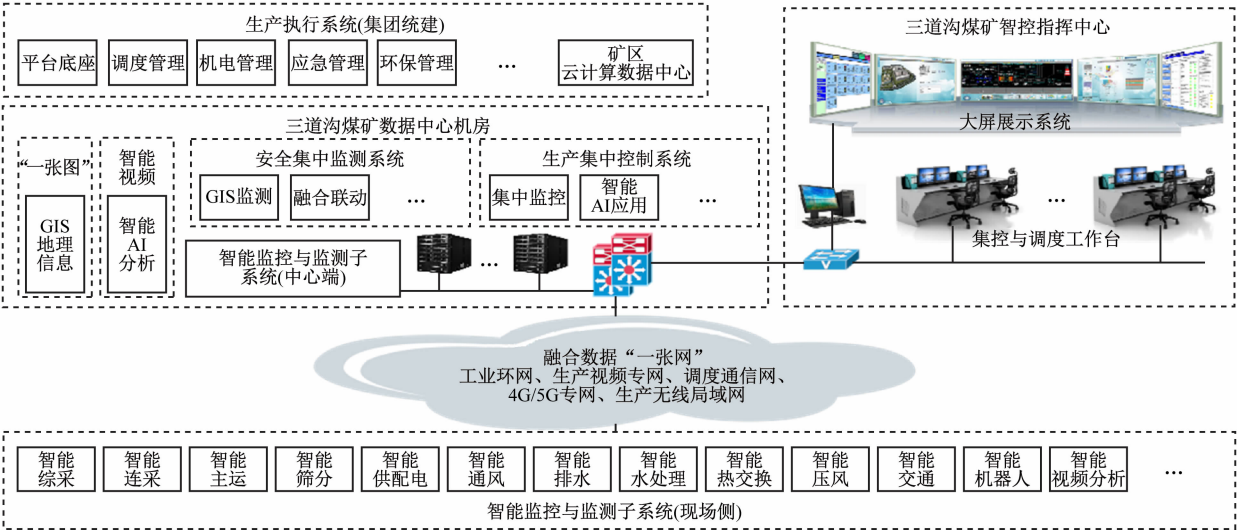


图 4 智能一体化管控平台架构

构优点,融合 TCP 和 HTTP 提高数据刷新速度。系统对全矿采掘、运输、筛分、通风、供电、排水等子系统测点数据进行采集、提取、自动分析,并提供直观的曲线、报警数据、运行时间、故障停机时间供决策者使用。集中控制各子系统自动化设备,提升安全经济运行水平,各系统之间进行数据共享、智能联动,实现通风机、排水水泵及主运胶带机的智能分析、智能预警、诊断及辅助决策功能,推进煤矿生产的“人-设备-环境-管理”闭环监控。生产集中控制系统作为一款工业控制系统,应用了旋转门数据压缩及插值算法、历史曲线预加载、Webwork 浏览器多线程和视频流转发等关键技术,满足煤矿毫秒级过程控制、实时数据监测需要。

2.4 智控指挥中心

为需适应智能矿山生产组织模式的变化,进一步明确中心业务定位,科学设置调度岗位和人员,合理设计调度中心空间布局、大屏显示系统,建设智控指挥中心。智控指挥中心作为整个矿井的信息汇合点,是集通信、指挥和监控调度于一体,高度智能化的信息枢纽^[11],满足智能矿山调度指挥业务的需要。

在智控指挥中心应用智能一体化管控平台,构建全矿安全生产指挥中枢,充分结合“一张图”指挥、全流程可视和多系统融合等信息化技术,对煤矿生产及辅助系统的现场自动化控制和生产监测信息进行整合,改变原有生产分散管控模式,实现开采、运输、筛分、通风、供电、排水等各生产环节在智控指挥中心的远程集中监控、系统间联动控制,实现了生产数据的集中管理和深化应用,使调度信息更丰富、业务决策更精准、生产管控更协同,大大提升了生产智能化监控能力和安全生产管理水平。

3 智能矿山建设存在的问题及下一步工作

3.1 存在的问题

3.1.1 技术问题

(1) 缺乏高质量数据支撑。数据是可持续使用并产生价值的资产^[12]。然而,煤炭行业缺乏统一数据标准,设备的规格参数、通信接口及协议不统一、不规范^[13];在数据应用方面,缺乏统筹考虑,各系统从自身角度出发对涉及数据内容进行冗余设计,过度收集数据,造成网络传输拥堵和存储资源巨大浪费。

(2) 缺乏易维护的网络通道。煤矿按照相关要求从安全角度出发,陆续建设工业控制环网、安全监测专网、视频环网、4G/5G 通信网等网络^[14],而煤矿采掘生产模式决定了以动目标为主,给网络维护带来巨大工作量,也给系统稳定运行造成隐患。

(3) 缺乏覆盖全井田的精确定位服务。在智能矿山建设过程中,精确定位服务提供的空间属性非常重要,通过了解对象的属性,才能清晰掌握事件发生位置和时间演化过程,井工煤矿广泛采用 WiFi、RFID、ZigBee、UWB、惯导等无线技术和摄像机、红外传感器等视觉方式进行定位^[15],解决人员定位、车辆定位、采煤机定位等局部定位问题,但因地下非透明环境缺乏全局精确定位服务。

3.1.2 管理问题

(1) 专业人才储备不足。作为智能化建设的核心要素,人才紧缺已成为掣肘智能矿山建设的核心堵点之一。智能化涉及采矿、机电、计算机、通信、法律等多学科、多专业,人才保障不能局限于招聘、引进、培养层面,需要深入思考、系统创新人才使用的联合体模式,逐阶段、逐层次破解智能化用人难题。

(2) 智能化建设与生产组织之间协同不够。需

要做好智能矿山建设和煤矿安全生产的协同工作, 统筹谋划、周密组织、科学调度, 有效避免系统安装调试对正常生产的影响, 合理安排生产计划, 积极推进系统上线, 持续优化系统应用, 不断提升智能化系统应用水平和生产管理效率, 实现安全生产与系统建设的良性互动。

3.2 下一步工作

为推进智能矿山建设, 下一步将全面深化虚拟现实、AI、全息投影、数字孪生、5G、大数据、云计算等智能化技术应用。通过设备配套更新改造, 完成智能化采煤、智能化掘进工作面建设, 达到中级智能化水平; 完善智能化监测监控手段, 将供电系统、排水、主运输等固定岗位全部实现无人值守, 同时达到高级智能化水平; 完善智能一体化管控平台, 建设灾害预警系统、智能视频系统、数据中心、透明地质系统等, 实现生产控制子系统、安全监测子系统的集中监控、分级预警及智能联动, 并达到中级智能化水平; 开展 5G 系统覆盖建设, 形成矿井有线+无线(4G/5G/WiFi)通信模式, 探索验证基于 5G 的智能采掘及生产控制^[14, 16-17]、环境监测、虚拟交互等典型应用场景。

4 结语

智能矿山作为数字矿山的后续和升级, 是利用新技术助力实现煤炭企业提质增效的重要举措, 实现从数字矿山被动监测感知到智能矿山数据驱动业务转变, 从数字矿山多系统竖井式建设向智能矿山云架构平台化过渡, 从数字矿山时期机电动力部门牵头建设为主向智能矿山阶段全矿各部门全员共同参与建设发展。

参考文献:

[1] 国家发展改革委. 关于印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》的通知[EB/OL]. [2022-02-27]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202007/t20200710_1233536.html?code=&state=123.

[2] 陕西省发展和改革委员会. 陕西省第十三届人民代表大会第五次会议代表建议批评和意见第 267 号[EB/OL]. [2022-02-27]. <http://ducha.shaanxi.gov.cn/suggest/websit/htmlfiles/jycont/202110264.htm>.

[3] 尤文顺, 丁震, 曹正远. 国家能源集团煤矿智能化建设探索与实践[J]. 工矿自动化, 2021, 47(增刊 1): 4-6, 20.

[4] 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撑[J]. 煤炭学报, 2019, 44(2): 349-357.

[5] 王国法. 加快煤矿智能化建设 推进煤炭行业高质量发展[J]. 中国煤炭, 2021, 47(1): 2-10.

[6] 王国法, 杜毅博, 任怀伟, 等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 1909-1924.

[7] 王海超. 煤矿智能连采工作面建设方向研究[J]. 中国矿业, 2020, 29(12): 99-102.

[8] 朱廉. 煤矿智能连采工作面建设[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(7): 146-147.

[9] 刘澎, 任文清. 煤矿无人值守带式输送机智能化系统设计[J]. 工矿自动化, 2021, 47(增刊 2): 75-77, 96.

[10] 蒋卫良, 王兴茹, 刘兵, 等. 煤矿智能化连续运输系统关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 134-142.

[11] 孙军. 煤矿生产指挥中心升级改造信息化设计[J]. 陕西煤炭, 2021, 40(6): 172-176.

[12] 石勇. 数字经济的发展与未来[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(1): 78-87.

[13] 王国法. 煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(1): 1-27.

[14] 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.

[15] 胡青松, 张赫男, 李世银, 等. 基于大数据与 AI 驱动的智能煤矿目标位置服务技术[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(8): 121-130.

[16] 顾义东, 孟玮. 煤矿 5G 无线通信系统建设构想[J]. 工矿自动化, 2021, 47(10): 1-6, 13.

[17] 梁占泽. 大柳塔煤矿智能矿山建设实践[J]. 工矿自动化, 2021, 47(增刊 2): 70-74, 116.