

继续当好创新发展先行者 打造行业智能化建设标杆

——中煤平朔集团东露天煤矿智能化建设经验及成果分享

丁新启

2020年2月，国家发展改革委等八部委联合印发了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》（以下简称《指导意见》），为煤炭行业高质量发展明确了目标并提出了主要任务和保障措施。《指导意见》指出：煤矿智能化是煤炭工业高质量发展的核心技术支撑，（将人工智能、工业物联网、云计算、大数据、机器人、智能装备等与现代煤炭开发利用深度融合，形成全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的智能系统），实现煤矿开拓、采掘（剥）、运输、通风、分选、安全保障、经营管理等过程的智能化运行，对于提升煤矿安全生产水平、保障煤炭稳定供应具有重要意义。2021年12月，国家能源局发布了《智能化示范煤矿验收管理办法（试行）》（以下简称《验收管理办法》），明确了国家首批智能化示范煤矿验收程序、验收要求和评分标准。

《指导意见》和《验收管理办法》的出台，既是坚持以科技创新为根本动力，推动智能化技术与煤炭产业融合发展，促进我国煤炭工业高质量发展，也是推动和指导煤矿企业科学合理制定智能化示范煤矿建设的具体举措，提升煤矿智能化水平。

煤炭工业的深度融合，形成全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的智能系统，通过设计、生产、安全、管理等工作的信息化和矿山机械的智能化，进而实现露天矿山生产安全、劳动生产率的大幅提高，以及整体生产成本的大幅降低，实现整个矿山的绿色、安全、高效、无人或少人化开采。

中煤平朔集团有限公司（以下简称中煤平朔集团）经过深入研究、科学谋划，提出了顶层设计、总体规划、稳步推进的工作思路，一方面充分吸收借鉴国内外先进成熟的自动化和信息化技术，另一方面，紧密结合《指导意见》和《验收管理办法》，以及国家、行业相关标准，编制完成了《东露天煤矿智能化建设规划》和《东露天智能化示范煤矿建设初步设计》。提前规划东露天煤矿未来5年的智能化建设实施方案，建设一期主要以网络基础设施、管控一体化平台和智能工艺建设为主；建设二期将进一步展开对智能化矿山的纵深研究，打造全矿山、全流程、全工艺的智能化建设，为东露天煤矿下一步智能化建设开展提供切实可行的科学依据，指导东露天煤矿建设绿色、安全、高效、智能的现代化一流矿山。

中煤平朔集团智能化矿山建设思路

科学决策部署，全局谋划智能化矿山建设

智能化露天矿的建设就是将信息化技术与露天

细化方案设计，稳中推进智能化矿山建设

中煤平朔集团东露天煤矿智能化建设的指导思想与《指导意见》和《验收管理办法》的目标一致，即在中煤平朔集团数字矿山建设的整体框架

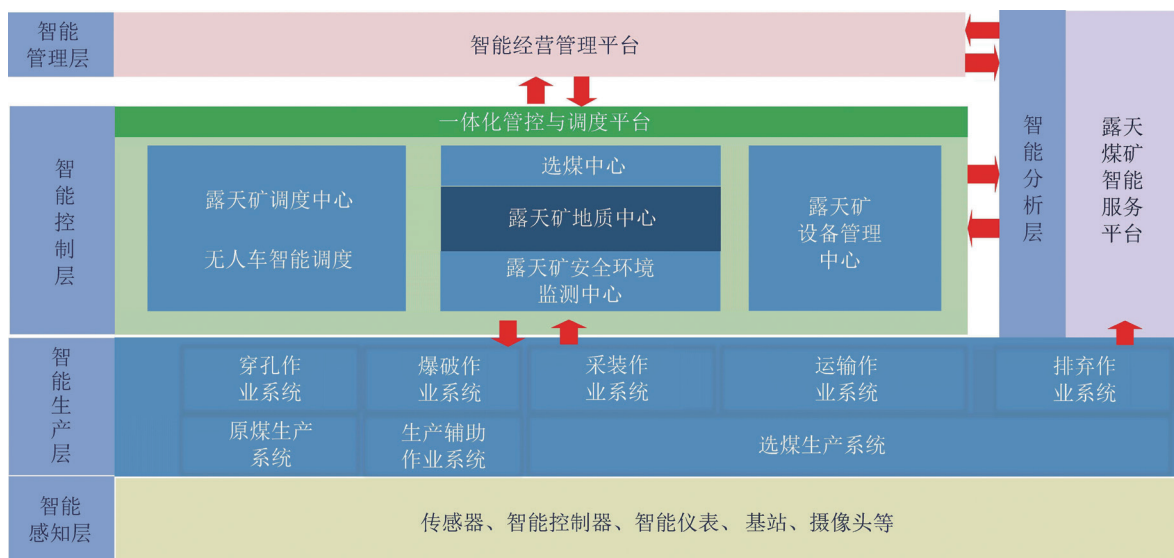


图1 中煤平朔集团东露天煤矿智能化建设框架

下，采用先进的技术和装备，建成一个能用、实用、管用、高效运行的智能露天煤矿，实现露天煤矿的管控一体化，达到安全可靠化、管理高效化、绿色生产化、成本最低化、效益最大化、人文和谐化。中煤平朔集团东露天煤矿智能化建设框架如图1所示。

东露天煤矿智能化建设内容共计17项，主要建设内容包括网络基础设施、智能工艺和一体化管控平台。其中：①网络基础设施是以满足东露天煤矿当前及未来智能化矿山建设需求为出发点，着眼当下，兼顾未来，分批次逐步推进5G网络建设，在目前已有的工业以太网、卡调系统MESH自组网等基础上，对矿区进行统一规划和设计；②智能工艺包括1台套矿用无人驾驶卡车、1台无人值守钻机的研制，110 kV无人值守变电站、无人值守排水泵站、爆破远程监控及预警系统、东露天矿选煤厂MES系统、矿区智能化供水系统建设，以及重要区域无人值守机器人巡检，智能化露天煤矿爆破设计，卡车调度系统应急指挥功能模块开发，电铲电量监控功能开发；③一体化管控平台包括数据中心和管控一体化平台，以及地理信息、智能调度、设备管理、安全监测、选煤监测各子系统的集成接入平台。

中煤平朔集团智能化煤矿建设情况

从2000年开始，中煤平朔集团坚持“统一规划、统一标准、统一投资、统一建设、统一管理、统一运维”的“六统一”原则，以及“纵向到底、横向到边”的管控要求，以专业化的管理模式开展信息化建设。不断完善信息化基础设施，开展生产管理信息系统、安全管控信息系统、专业化管理信息系统、综合信息管控系统的建设，在企业集团化运作、集约化经营、精细化管理方面发挥了重要作用。2021年12月，中煤平朔集团东露天煤矿已完成全国首批智能化示范煤矿建设，所有子系统已投入生产试运行。具体建设情况如下：

信息基础设施

(1) 通信网络

中煤平朔集团在矿区建设了较为完整的有线、无线通信网络，覆盖各生产和办公区域；东露天煤矿智能化建设在原有MESH网及700 M网络覆盖的基础上新建了5G网络，为东露天煤矿1台套无人驾驶卡车和无人值守钻机提供5G网络服务，满足其

各工业终端设备的传感器信息采集、视频监控、远程控制等场景的网络需求,便于上传监控图像、传感器信息等数据并下发控制指令信息,实现了生产作业过程的无人化和智能化。

(2) 数据中心

东露天煤矿智能化建设以超融合架构搭建数据中心,采用去中心化的分布式集群管理技术、CPU和内存调用优化技术、数据底层多重保障技术,以满足智能矿山业务应用开发在高性能、高可靠性、弹性扩展及伸缩、简化基础架构管理等方面的需求,实现在自动化故障转移、容灾、全面优化数据中心软硬件资产、集成智能化运维等方面的信息化目标,从而实现智能矿山建设的总体目标。

(3) 露天煤矿智能综合管控平台

东露天煤矿建成了全国首个集安全、生产、经营管理、地理信息等系统数据为一体的露天煤矿智能综合管控平台,采用无人机航测、三维渲染等技术,将矿坑展示到屏幕上,实现了安全、生产信息一张图展示,集成各子系统数据,实现了露天煤矿各系统接口标准统一,可对露天煤矿采剥、运输、供电、调度等全环节、全周期、全过程数据进行实时统一采集、存储、管理、分析;搭建了煤矿安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防系统,实现了标准化考核趋势分析和安全的全过程闭环管理,以及边坡、水害等多种灾害监测预警与应急救援指挥调度,煤矿安全生产信息化水平得到显著提升。

矿山设计

(1) 地质保障

开发了三维点云一体化综合管理平台软件,实现了自动处理点云数据、绘制地形图、智能绘制特征线、批量计算及统计土石方工程量、采运排设计等功能;通过引进三维激光扫描和无人机航测技术及装备,构建了三维立体测绘体系,可准确探测和获取地质信息,实现了基于多源数据的综合地质建模,地质模型可实现三维可视化;建立了地理信息系统,可实现中煤平朔集团各系统、各部门准确高

效的地理信息实时综合服务,提升了全矿区的生产精细化管理水平。

(2) 穿孔爆破设计

通过三维爆破设计软件实现智能化的参数设计,具备爆破效果智能模拟预测功能,以及绘制露天煤矿穿孔爆破设计图的能力,实现了爆破作业信息化管理。

(3) 采矿设计

采用3D Mine 矿业工程软件建立了三维矿床模型和智能设计系统,用于指导露天矿制定短期采剥计划、中长期规划,计算日常采剥工程量,盘点年度采剥量等工作,实现了开采境界、开采工艺系统、开采程序、开拓运输系统的综合优化及智能决策,实现了中长期开采计划的自动排产功能。

智能穿爆

东露天煤矿选取1台阿特拉斯CDM75E钻机进行无人值守改造,实现了远程操作行走、水平找正、精准定位、自动换杆、钻孔,运行状态实时监测等功能;建立了爆破远程监控及危险预警系统,实现了爆破警戒区域的远程监控和预警功能。

矿山工程

东露天煤矿建立了卡车智能调度管理系统,具备露天生产管理、设备跟踪以及状态识别、车辆运行状态显示、智能配车、故障报警、历史运行回放、自动计量、燃油异常管理、轮胎消耗管理、设备调拨、平台数据集中共享等功能,实现了露天煤矿生产全过程的信息化管理;为保护露天煤矿生产设备和操作人员的安全,集中部署了卡车防碰撞系统和防疲劳系统,实现了会车、转弯、盲区、超速自动报警,以及司机驾驶提醒功能,有效预防了安全事故的发生;开展了矿用卡车无人驾驶系统研究,对1台套矿用卡车进行无人化改造,以及在1台电铲、13台辅助设备上安装终端系统,实现了无人驾驶卡车编组运行。



图2 东露天煤矿地面智能指挥中心

智能辅助

（1）数字孪生

东露天煤矿智能综合管控平台通过航拍飞行技术将其工业广场和矿坑全景虚拟为三维场景，将卡车和电铲建成三维模型，置于矿坑三维场景中，采用GPS定位技术形成实时移动轨迹。

（2）边坡监测与预警

中煤平朔集团先后引进了合成孔径边坡雷达、测量机器人、GNSS地表位移监测设备及技术，在危险边坡区域建设并运行了9套自动化监测系统，实现了矿区边坡全天24 h实时监测与自动预警，保障了边坡的稳定安全。

（3）防排水

排水泵站无人值守项目对现有排水系统进行智能化升级改造，在现有设备基础上，增加控制层、网络层、终端传感器装置和视频监控等，实现坑底泵房集中监控、无人值守和根据水量自动抽排水等功能。

（4）供配电

建立了110 kV工业场变电站无人值守系统，具备集中监控、无人值守功能，以及智能开关和关键负荷电缆的测温 and 报警功能，实现变电站无人化联动监控。

管理与决策

中煤平朔集团已建成了集ERP系统、EAM系统、OA系统、法务系统、招标系统、采购一体化平台、档案管理系统等诸多业务系统组成的信息化经营管理系统集群，较大程度上提升了中煤平朔集团经营管理业务的执行效率；建成了综合信息集成平台，集成井工、露天、动力、分选、化工等各板块生产信息系统数据，为集团职能管控、生产调度、经营决策提供数据依据，实现集团对各所属单位现场信息的全面掌控；建成了可视化系统，应用大数据技术，建设了可视化管理系统，集成ERP、EAM、法律系统、电商平台、招标系统等数据，实现对物资采购、工程管理、外委维修等主要业务全流程的管理和监督考核，提升管理效率。

智能化园区

东露天煤矿建立了地面智能指挥中心（图2），集成智能化指挥、调度、管控、办公、培训、展示等功能，实现了对露天煤矿作业现场各系统的统一协调管控。

智能化选煤厂

东露天煤矿建设了选煤厂自动控制系统、选煤厂自动装车系统、选煤厂生产执行（MES）管理系统和选煤厂重要区域无人值守机器人巡检，使选煤厂主要流程设备实现了远程集中联锁控制，主要生产环节的计质计量和安全监控系统齐全有效，主要选煤工艺参数监控设施齐全，提升了选煤厂智能化水平。

中煤平朔集团智能化煤矿建设亮点

构建平朔矿区三维地质地理信息系统

中煤平朔集团建矿30多年来积累了大量的空间数据、基础地理数据及地测专题数据，并且随着特大型无人机航测体系在中煤平朔集团露天煤矿采剥工程验收工作中的成功应用，空间数据的获取方式变得更加准确便捷。通过采用全球定位、遥感、地理信息系统、云计算、现代通信、无人机遥测等新技术，对平朔矿区多时期不同时间段的航拍影像图、交换图、点云数据以及各种专题图等空间数据进行整合入库。依托三维地质地理信息及相关信息数据库，建立了各矿区、各部门、各专业的矿山地理信息系统平台，通过局域网或互联网的方式实现中煤

平朔集团、各部门、各矿对地理信息、空间定位和分析，为矿区的安全、生产、监控、管理等提供了辅助决策支持，提升了全矿区的生产精细化管理水平和应急响应能力的准确性等。

构建基于5G通信网络的信息监测监控系统

5G通信网络采取独立组网（SA），在数据中心机房部署了本地5G核心网。基于5G通信网络的大容量传输和低时延，主要覆盖区域为东露天采矿区涉及无人驾驶的区域，通过部署5G基站实现了矿区无线覆盖。数据模块嵌入车辆控制终端，作为业务数据接入点，应用层承载客户自有业务。

通过矿区范围的高清摄像头可进行智能识别与预警，将主要采矿设备、辅助设备的故障诊断信息、卡车轮胎信息、原煤运输系统信息通过5G通信网络上传到设备管理系统，大幅提高了设备可用率，降低了维修成本。在地理信息系统的基础上对基于5G通信技术的卡车调度系统进行升级，实现了高精度钻孔，减少了验孔等环节。根据电铲位置对应的煤质，实时配煤，接入卡车称重系统数据，提高卡车装车质量。将卡车加油数据实时传入卡车调度系统，结合卡车运行状态，实时分析卡车燃油消耗情况，建立基于单台设备的燃油管理系统。



图3 东露天煤矿无人驾驶卡车



图4 东露天煤矿无人值守钻机现场



图5 东露天煤矿无人值守钻机远程集控操作台

矿用卡车无人驾驶

矿用无人驾驶技术改造项目对7台矿用卡车、1台电铲以及13台辅助设备进行了无人化改造。通过开发与无人驾驶卡车配套的无人运输作业智能调度平台、多种设备协同作业管理系统、V2X矿区通信网络系统和高精地图采集、更新、管理系统，同时利用露天煤矿的高精度组合导航定位技术、多种传感器技术融合技术等，并结合人工智能算法，实现了矿用卡车无人驾驶编组运行。东露天煤矿无人驾驶卡车如图3所示。目前，东露天煤矿已完成1台套无人驾驶卡车-电铲-辅助设备协同编组运行及远程接管系统调试，成为国内真实作业场景下具备常态化编组运行能力的示范项目。

钻机远程无人值守

大型露天煤矿钻机无人值守系统由钻机电控系统、车载智能控制、遥控和远程控制3个部分组

成。根据东露天矿现场钻机性能，选取了1台阿特拉斯CDM75E钻机进行无人化改造。通过运用钻机智能控制技术、环境感知技术、高精度定位技术、高性能无线通信技术、视频监控技术、车载信息采集技术等，结合人工智能算法，实现了钻机在无人值守的情况下能够进行水平找正、自动布孔、无人驾驶钻孔作业、钻孔自动检测和远程控制钻机功能。东露天煤矿无人值守钻机现场及其远程集控操作台分别，如图4、图5所示。

目前，钻机无人值守系统已完成改造，正在测试远程遥控钻孔作业、优化钻机无人值守远程操作平台和研发护孔设备，实现了国内首台钻机远程遥控钻孔、自动护孔作业。

中煤平朔集团智能化煤矿建设成果

2021年，中煤平朔集团东露天煤矿通过智能化建设，更加丰富完善了矿山智能化建设内容，显著

提升了矿山智能化建设科技水平。目前,东露天煤矿已完成5G基础网络建设,覆盖卡车无人驾驶、钻机无人值守区域,满足实时性、可靠性的要求;完成了数据中心建设,实现了矿区计算资源、存储资源的统一管理、统一运维;完成了智能综合管控平台建设,并接入智能卡车调度系统、卡车无人驾驶系统、钻机无人值守系统、爆破远程监控及危险预警系统、大型生产设备安全预警系统、工业视频监控系統、原煤运输集中控制系统、智能选煤厂系统、地理信息系统、排土场及边坡安全监测预警系统、排水泵站无人值守及变电站无人值守等17个子系统,全面提升了矿山安全生产与管理水平,实

现了监控、生产、维护、安全等多环节的少人化或无人化,实现了安全可靠化、管理高效化、生产绿色化、成本最小化、效益最大化及人文和谐化。在核心技术国产化、5G通信技术应用等方面有力地打造了核心竞争力。

另外,中煤平朔集团于2021年初受山西省政府和工业和信息化厅委托,牵头编制完成了国内首个《智能化露天煤矿建设规范》,该规范具有行业先进性、适用性和可操作性,不仅可用于规范和指导山西省露天煤矿的智能化建设,同时为全国露天煤矿的智能化建设提供了依据,对加快煤炭产业转型升级和推进能源革命具有重要意义。

■ 责任编辑:李艾稣

作者简介

丁新启

教授级高级工程师,博士,现任中煤平朔集团有限公司总工程师

获得第二届露天采煤青年科技奖、山西省优秀企业家、中国煤炭工业协会“双十佳”矿长等多项荣誉。提出了中煤平朔集团有限公司智能化矿山建设“总体规划、稳步推进、分步实施”的工作思路,以及“统一规划、统一标准、统一投资、统一建设、统一管理、统一运维”的“六统一”建设原则;牵头编制完成了国内首个地方标准《智能化露天煤矿建设规范》,为山西省露天煤矿和中煤平朔集团有限公司智能化矿山建设提供了理论依据和实践经验;牵头完成了中煤平朔集团有限公司3个露天煤矿中长期发展规划,增加了原煤产量,稳定了生产组织,优化了排土空间。

热点问答

智能化矿山的技术特征是什么?

智能化矿山是一个多环节、多系统的复杂体系,一般包含上百个子系统,系统之间层次逻辑交叉;系统和周围环境之间存在物质、能量、信息的交换;煤矿又与外部市场、运输、生态相关联。因此,智能化矿山是一个开放的复杂巨系统。智能化是指使对象具备灵敏准确的感知能力、精准的判断决策能力及行之有效的执行能力,能够根据感知信息进行智能分析、决策与执行,并具备自学习与自优化的功能。智能化应具有3个要素:一是具有对外部信息的实时感知与获取的能力;二是具有基于对感知信息的存储、分析、联想,自学习、自决策的能力;三是具备自动执行能力。煤矿智能化是指煤矿开拓设计、地测、采掘、运通、分选、安全保障、生产管理为主要系统具有自感知、自学习、自决策与自执行的基本能力。

——来源:《智能矿山》创刊号