



彬长小庄智能化示范矿井建设及应用

——陕西彬长小庄矿业有限公司智能矿井建设实践与探索

柳东林 王鹏

陕西彬长小庄矿业有限公司（以下简称小庄煤矿）隶属于陕西彬长矿业集团有限公司。小庄煤矿矿井设计生产能力600万t/a，服务年限67年，井田面积46.23 km²，煤层平均厚度18 m，可采储量5.4亿t。矿井自投产至今，累计生产煤炭2 530万t，实现营业收入86亿元。近年来，小庄煤矿获得了第五届印度国际选煤大会“选煤厂运营管理金奖”、中国煤炭加工利用协会“行业级煤质管理标准化矿井”、“行业级质量标准化选煤厂”、陕西省“煤炭行业文明工地”、陕西煤业化工集团有限责任公司“项目建设管理先进单位”等荣誉。

作为2020年陕西省“5G+智慧矿山”试点示范项目，小庄煤矿通过“生产导入”和“应用研究”并行的模式，利用5G通信技术广连接、大带

宽、低时延的特点，提升小庄煤矿信息基础设施和机房水平，通过架设5G一体式高清工业摄像机和5G一体式红外热成像摄像机，进行井下高清视频图像快速传输；通过5G-IoT多参数无线传感器进行安全检测，实现泛在感知物联网应用、数字孪生工作面生产执行应用、智慧矿区安全生产VR仿真培训等，丰富传统复杂地质条件下矿井生产的智能化和安全管理方法及手段。作为“5G+智慧矿山”试点示范项目将着力打造陕西省乃至全国的“5G+智慧矿区”试点。

“5G+智慧矿区”建设方案

根据陕西彬长矿业集团有限公司智慧矿区和智



能矿井的要求，各选1个掘进工作面和综放工作面作为示范点，建设矿井5G通信基础设施，实现多场景高清视频分析系统、无线全感知安全生产系统、数字孪生工作面生产执行系统等应用场景的生产导入和应用研究，“5G+智慧矿区”建设内容和工作任务见表1。

矿井 5G 通信基础设施

利用5G无线网络，建设智慧矿区生产指挥系统和智能矿井生产执行系统所需的网络基础设施。通过独立部署网络边缘计算MEC单元，实现各个应用场景的信息交互，从集中式数据中心下沉到矿井网络边缘端，在靠近矿井生产执行的网络边缘端提供IT和云计算，达到高带宽、低时延、近端部署的效果。基带处理单元（BBU）与扩展单元（FSW）之间通过光纤相连，扩展单元与远端射频单元（pRRU）之间通过光纤或光电混合缆相连的一站式解决方案，实现高清摄像头、采掘和机电设备、环境安全及地压应力传感器、生产智慧和应急指挥管控等信息数据实时传输、分析和处理。用户可按矿区定制需求访问不同网络，在兼顾矿区专网和公网业务的同时，实现矿区范围的网络隔离，保证了矿井生产指挥和执行数据的安全性和隔离性。

为满足小庄煤矿MEC需求，在企业数据中心部署出口3层网关（CE网关），下连机房UPF设备，并在CE网关出口串接防火墙设备，实现与外

界网络隔离。小庄煤矿MEC组网架构如图1所示。

（1）园区内终端用户通过无线网络接入承载网（IPRAN），将用户流量汇聚至小庄煤矿园区内MEC。

（2）MEC的企业私网业务通过防火墙接入小庄煤矿园区网络，对接业务企业应用平台，实现数据流量不出园区。

（3）MEC的控制面接入陕西5G CSA核心网，划分独立号段用于长庆专网用户开户鉴权。

核心网UPF各配置1台E9000H鲲鹏高性能服务器和F1A业务交换机。考虑部署MEP平台，实现能力管理、能力开放、日志采集、安全管理等，根据对MEC的应用需求，测算MEC配置。

矿用5G通信系统主要由5G核心网、地面基带处理单元（BBU）、矿用隔爆型远端汇聚站、矿用隔爆兼本安型5G基站、矿用本安型信号转换器等构成。井下采用矿用隔爆兼本安型5G基站实现无线网络覆盖，井下基站通过矿用远端汇聚站RHuB进行汇聚后，与地面基带处理单元相连，传输接口为光接口。矿用5G系统结构如图2所示。

多场景高清视频分析系统

多场景高清视频分析系统服务于无人化生产的有线、无线高清摄像头和高速、高带宽的传输网络已成为新一代的基础设施。5G无线网络技术10 Gbit/s的理论下载带宽和近1 Gbit/s的上载带宽，能够在很大程度上解决4G仅支持2~4个高清摄像头

表1 “5G+智慧矿区”建设内容和工作任务

| 实施方法 | 建设内容和工作任务 | | | |
|------|-------------------|---------------------------------|--|---------------------|
| | 矿井 5G 通信基础设施 | 多场景高清视频分析系统 | 无线感知安全生产系统 | 数字孪生工作面生产执行系统 |
| 生产导入 | 井下 5G 网络、MEC 基础覆盖 | 5G 图像专用网络建设 | 5G 安全感知专用网络建设 | 5G 数字孪生混合网络建设 |
| | 大巷 5G 网络覆盖 | 私有云图像数据库部署 | 私有云时序数据库部署 | 私有云混合数据库+生产执行系统建设 |
| | 掘进面+综放面 5G 网络覆盖 | 掘进工作面+综放工作面+大巷高清图像采集和 4D-GIS 部署 | 掘进工作面+综放工作面+大巷 5G IoT 传感器部署和 4D-GIS 部署 | 综放和掘进工作面动态数字孪生和指挥调度 |
| 应用研究 | 5G 通信质量优化 | 5G 采掘图像识别优化 | 全感知系统预测模型优化 | 智能预警模块+数字接口 |
| | | 5G 高清图像解析与预警 | 全感知环境安全 GIoT 传感器研发 | |

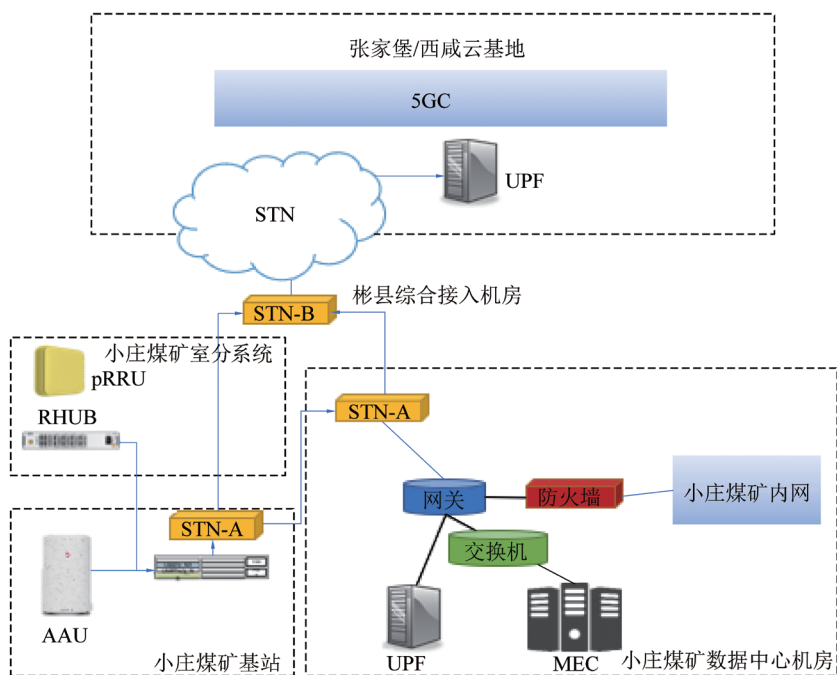


图1 小庄煤矿MEC组网架构

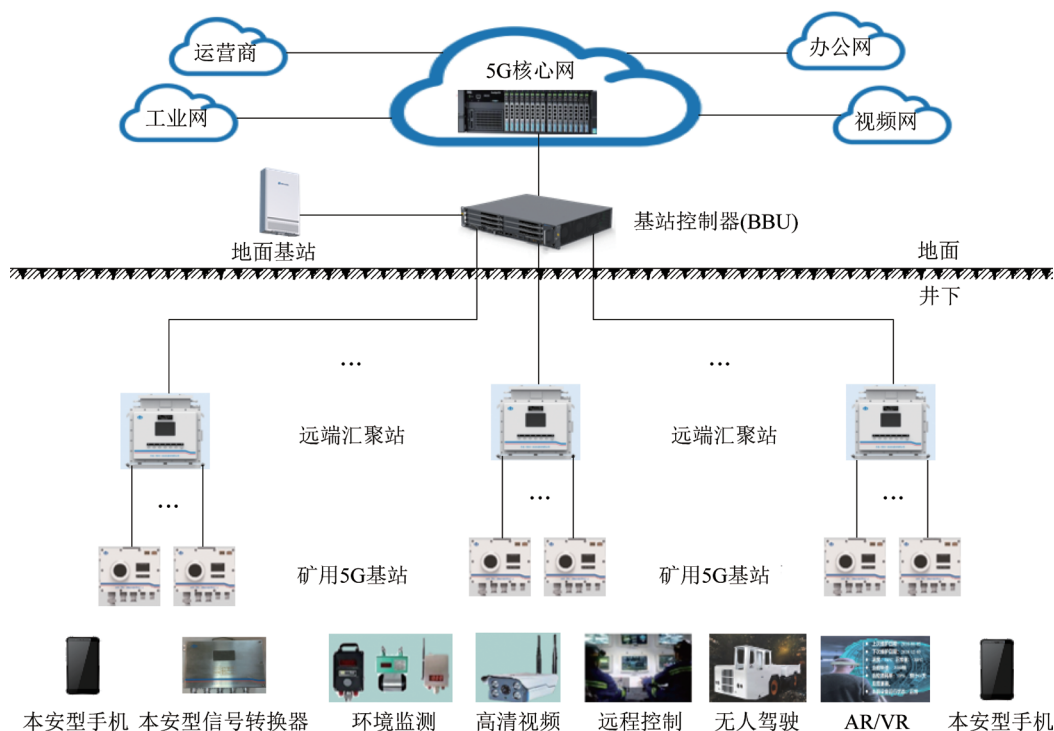


图2 矿用5G系统结构

数据传输的局限,以及高清图像实时传输的延迟问题。同时,可见光和红外高清摄像头可通过5G无线的方式接入通信网络,解决采掘工作面视频移动设备的撤布线困难和线缆易松脱等问题。基于现场智能化采掘图像分析可实现工作面24 h全方位、无

死角实时监控,对工作面设备状态、人员操作、故障报警等进行实时智能分析,解决当前各类巡检机器人造价高、充电慢、改造工程量、运维复杂及巡线死角多等问题,从而实现井下生产图像数据的实时传输和智能呈现。



图3 小庄煤矿工作面智慧矿区生产监管平台现场

无线全感知安全生产系统

根据陕西彬长矿业集团有限公司智慧矿区和智能矿井信息化的建设要求，利用5G等无线通信网络技术，无线化实时采集及传输矿井工作面和机电环境的瓦斯、通风、地音、微震、应力、矿压、水文等生产安全感知信息，解决多类型数据孤立和有线传感网络线缆多，日常巡检、生产搬运和搬家倒面工作量大等问题。

建立基于OPC-UA技术和无线通信技术的矿井环境下瓦斯、通风、地音、微震、应力、矿压、水文信息4D-GIS全感知系统，实现多源异构、复杂信息采样密度下传感器的实时分布式存储和数据安全智能分析，解决当前各系统孤立、信息隔绝，无法协同分析生产环境、地质条件和水位信息的潜在安全风险和隐患问题。

数字孪生工作面生产执行应用系统

5G数字孪生工作面生产执行系统通过分析采掘工作面的物理数据、虚拟数据、环境数据、图像数据、知识和服务数据，解决环境、装备、工艺之间的相互关系，形成智能工作面的数据融合交互等动态应用场景。具体包括基于动态数字孪生技术的

采掘工作面智能生产执行系统，支持高并发的实时数据库和关系数据库，以及基于数字孪生技术的采掘工作面的生产执行、设备管理、环境安全监测单元；与数字孪生技术融合，形成物理体数据、虚拟体数据和能量信息间的动态交互模型，实时反映采掘工作面及设备的运行状况、实时性能、环境参数、突发扰动等动态过程数据，以及相关评估、分析、预测等数据，最终建立工作面生产、设备、安全知识和管理的数据。

“5G + 智慧矿区”建设成果

“5G + 智慧矿区”结合物联网、人工智能、大数据、数字孪生、图像和语音识别等技术与关中地区灾害集中，以及瓦斯、水、火、冲击地压、煤尘、顶板和地温“7毒”俱全的复杂矿区工作面进行技术融合、创新研究和示范成果，呈现多场景高清视频采集和分析技术、混合数据融合的全感知技术、工作面动态数字孪生技术相关产品，最终作为全国煤炭行业首个工作面生产管理和新技术“5G+智慧矿区”建设示范点。

“5G + 智慧矿区”示范项目依照“总体规

划、分步实施、因地制宜、效益优先”的原则，利用5G无线通信、MEC架构、超融合架构、大数据、图像识别、分布式计算、4D-GIS、数字孪生等技术，构建高效的智能化生产管理系统和科学防灾、治灾基础，取得以下成果：

（1）生产环境中的采掘系统、“三机”系统、主通风系统、供配电系统等基于数字孪生的信息采集、图像感知。

（2）安全环境中氧气、粉尘、一氧化碳、甲烷、硫化氢、二氧化碳等信息实现通过无线采集的方法进行全方位实时监测及预控。本次建设包括构建“1基础、3系统、1套标准模式和N个智能化应用”，具体目标包括：①架设矿井5G无线通信、MEC平台、超融合数据服务基础设施以及模块化数据机房建设；②架设矿井5G环境，利用5G通信技术的广连接、低时延和大带宽特点，连接点感知（传感器）、面感知（摄像机）及更好的虚拟化场景互动（数字孪生），实现对传统万兆有线光网的支持与补充。

（3）形成替代单点独立冗余服务器超融合架构存储的超融合架构，使其具备计算、网络、存储和服务器虚拟化等资源和技术，包括备份软件、快照技术、重复数据删除、在线数据压缩等元素，新增的多套单元设备可以通过网络聚合起来，实现模块化的无缝横向扩展，形成统一的资源池。

（4）新建模块化数据机房包括供配电、温湿度控制、机柜及通道、监控管理四大核心子系统，为各类IT设备提供高质量的供电、温度和湿度环境保障，负载类型以IT服务器、交换机和超融合设备为主，承担机房核心网络业务。

（5）搭建井下高清视频图像5G传输应用。通过可见光、红外线高清摄像机，形成对采煤机、掘进机、带式输送机、设备硐室、中央变电所等移动或固定设备的状态进行监测，形成对矿井生产过程、环境安全的有效采集和分析预警，并以4D-GIS和数字孪生的形式进行展示，小庄煤矿工作面智慧矿区高清视频生产监管平台现场如图3所示。

（6）构建安全监测泛在感知的物联网应用。

在现有OPC-UA、CAN、Modbus等工业总线和ZigBee、LORA、5G-IoT、WiFi等工业无线监测系统的基础上，研发基于5G-IoT技术的环境安全信息多参数一体化无线传感器，通过在地面侧融合安全、地质、水文、冲击地压、顶板等灾害监测子系统，形成超融合标准化数据存储和安全监测泛在感知物联网应用系统，实现对矿井生产现场的环境安全有效分析和早期预警。

（7）完善5G数字孪生工作面生产系统应用。

通过生产过程中采掘装备和配套设备的系统模拟和在线更新，融合4D-GIS技术、虚拟现实（VR）技术，搭建基于5G的全感知、高清视频及生产执行系统，形成可靠的工作面数字孪生生产管理系统，并通过井上3D数字孪生和VR大屏展现矿井安全生产和设备运行的状态，实现采煤生产和环境的安全预测、计划调度、突发事件预警和应急处置功能。

（8）利用动态虚拟环境建模技术、立体显示和传感器技术、OpenGL技术、实时三维图形生成技术、系统集成技术等计算机屏幕上实时、清晰地呈现井下真实工作条件，利用获取的三维数据建立相应的虚拟环境模型；并通过高效率的三维引擎来保证综放、掘进工作面的现场状态刷新和有效互动。对采煤工作面的采煤机、液压支架、泵站、电气设备、刮板输送机、转载机、破碎机、带式输送机、超前支架等设备，围岩状态和环境参数进行综合监测和控制，以及掘进工作面的掘进机、锚杆机、钻机和运输、供电、通风、压风、防尘、降温等设备的位置、姿态、运行状态、故障信息以及环境参数的综合监测和控制。工作面三维现实+数字孪生监管系统界面如图4、图5所示。

“5G + 智慧矿区”创新与突破

“5G + 智慧矿区”项目的实施形成了“1中+4全”的小庄煤矿模式，即全部中国芯、数据全感



图4 工作面三维现实+数字孪生监管系统界面

知、生产全孪生、安全全覆盖、运营全管控。该项目成果在国际和国内首次实现了以下突破:

(1) 通过探索适合关中矿区复杂地质条件环境的“5G+智慧矿区”建设方法和路径,实现了小庄煤矿的管理协同化、资源利用高效化、业务智能化、服务便捷化,完成了小庄煤矿一体化矿井管理智能化示范工作,形成了有效的煤炭安全生产在线监控、智能分析、动态评价、超前预警、应急响应等智能运维和智慧管理的“彬长模式”;实现了企业生产、经营、管理的智能化,把小庄煤矿建设成一个国内一流、国际领先的安全、高效、绿色、智能的矿区,为彬长矿区的智能化发展和陕煤股份的“四化”建设积累经验。

(2) 通过安全风险分级分类和分析预警、井下危险区域实时监测、生产设备全生命周期管理和故障识别、矿井人员追踪管理等落地验证,提供了可靠的面向国家矿山能源多元灾害环境的工业互联网+安全生产解决方案。

(3) 利用数字化、网络化和智能化的智能矿山实施路径,形成“1+1+1+1+N”模式,即1个基础、1朵云(混合云)、1个信息共享综合管控平台、1个生产一体化协同平台和N个应用(智能综合管控的生产执行系统、经营管理系统、决策支持

系统、安全管理系统、远程监控及维护系统、统计分析与预测系统、移动智能终端APP)的智能化矿井,实现生产智能监控、设备智能管理与监控、安全智能监控、应急智能指挥、风险分级预警与隐患排查、综合集团驾驶舱、报表统计、数字孪生与仿真等。

1) 万物互联。全面感知井下人、机、环等的位置、状态,可以对设备进行监测、控制,进行设备全生命周期管理。

2) 时空服务。利用GIS+BIM技术,为智能矿山应用提供二三位一体化的位置服务、矿山工程及设备的全生命周期管理等服务和工具,实现矿山工作面数字孪生。

3) 平台融合、控制联动。通过软件定义,实现井上井下人、机、环、管信息的强实时关联、融合与智能联动。

(4) 实现井下“5G+智慧矿区”基础设施的完善,完成煤矿数据融合、应用支撑平台的搭建,计划对井下1个综采工作面、1个掘进工作面、中央变电所的环境监测传感器、井下监控视频和通信设备进行替代和升级,形成可靠的数字化和5G网络化基础;架构1套大数据采集系统、1套大数据硬件平台(云平台管理、计算资源、存储资源、网

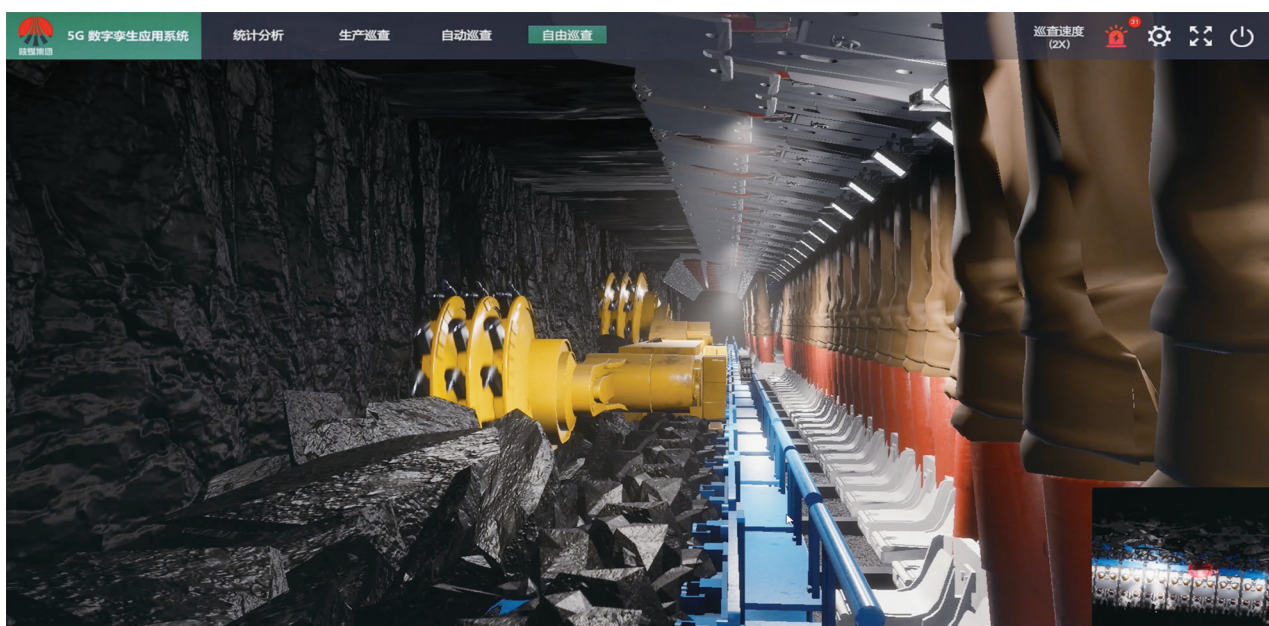


图5 工作面三维现实+数字孪生监管系统界面

络资源等)、1套数据服务架构、1个“5G+智慧矿区”基础设施平台、1个业务支撑平台、N个智能化应用和1套标准模式体系,其中:①1套大数据硬件平台包括5G无线通信技术的MEC边缘端网络、智慧矿区超融合基础设施和模块化数据机房;②1个业务支撑平台包括5G传输应用系统、高清视频图像系统、智能灾害监测和地质保障系统、主辅运系统数字孪生生产执行和决策管理系统业务支撑平台;③1套标准模式是指通过对小庄煤矿的试点建设,形成符合陕煤集团标准化的智慧矿区生产、运营和管理模式,最终实现集团所属矿区资产的智慧化运营模板;④N个智能化应用包括智能巡检管理、设备状态监控、环境安全监控、安全预警、图像视频监控和智能识别分析、移动端应用平台(全场景)、煤矿三维智慧矿区安全生产VR仿真培训等。最终将矿井生产体系打造成安全生产全感知、所有煤矿数据融合共享、高新技术全方位应用的“5G+智慧矿区”。

(5) 传感器、摄像头,5G模组,算力服务器/GPU服务器首次全部使用中国芯。

(6) 在国内首次实现了5G独立组网(SA)通信技术的高清视频采集。

(7) 基于岗位职责的多矿井角色虚拟巡检

(值班矿长和维修、操作、安全人员)。

(8) 创建了陕西省地方标准《煤矿风险分级预警规范》(DB61/T-XXX2021)。

结语

小庄煤矿建设了“1+3+1+N”(1个“5G+智慧矿区”基础设施平台、3个系统、1套标准模式、N个智能化应用)的标准化智慧矿区生产、运营、维护和管理模式,并在此基础上实现了集团所属矿上资产的智慧化运营。利用数据驱动、智能创新等方式,对传统管理与生产模式进行改造,将煤矿数据转化为核心资源优势,实现了技术、设施、资金、人才、服务等资源的优化配置,提升管理和煤炭生产的精细化,利用数据驱动,让数据成为引领发展的新动力。

■ 责任编辑:李艾姝

作者简介:

第一作者:柳东林,工程师,现任陕西彬长小庄矿业有限公司信息中心部门经理。

E-mail: 106659017@qq.com

作者单位:陕西彬长小庄矿业有限公司