



西安华云智联信息科技有限公司

中国通信服务股份有限公司西安分公司

主标题：多元灾害耦合环境下 “5G+智慧矿区”

副标题：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

引言：陕西煤业化工集团有限责任公司（简称陕煤集团）2004年成立，是全国三大煤矿集团之一。2020年陕煤集团全年生产煤炭1.95亿吨、各类化工产品1881万吨、粗钢1318万吨、发电量398亿度、水泥产品778万吨，实现营业收入3403亿元、利润175亿元，位列2021年《财富》世界500强榜单220位。

陕西陕煤彬长小庄矿业公司隶属于陕煤集团，是集团“5G+智慧矿区”试点单位，设计能力600万吨/年。小庄矿业立足中标的2020年工业和信息化部工业互联网创新发展工程，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。11月15日人民日报对陕煤彬长矿区安全生产成绩做了报道。

一、项目概况

陕煤集团彬长小庄煤矿属于侏罗纪煤层，储煤环境复杂，地质条件不稳定，是全国水、火、瓦斯、煤尘、顶板、地热和矿压等灾害最严重矿区，被国家矿山安全监察局认定为全国 5300 所生产矿井中的“七毒俱全”矿井。



图 1 小庄矿井“七毒俱全”

作为全国三大煤矿集团之一的陕煤集团的“5G+智慧矿区”试点矿井，小庄矿业立足于区域一体化工业互联网公共服务平台项目（2020 年）《面向西部能源化工聚集区工业互联网公共服务平台》项目，旨在打造面向全国同类型复杂地质环境下工业互联网+安全生产解决方案，解决困扰国家煤炭智能化发展瓶颈。

1. 项目背景

国家八部委在 2020 年 2 月份发布了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》的通知，发改能源〔2020〕283 号文件，吹响了煤炭行业结构化调整的号角，伴随着煤矿开采规模的扩大以及安全生产要求的提高，矿井采掘生产、机电设备、

主辅运输、人员定位、环境监控、工业视频、自动化控制、避险救灾和应急管理系统的普及，催生了煤炭行业“智慧矿区”和“智能矿井”强大的需求。

2. 项目简介

作为 2020 年陕西省“5G+智慧矿山”试点示范项目，通过智慧矿山建设不仅可以促进企业内部生产关系的转型升级，完成与“互联网+”社会生产力的和谐对接，还能进一步释放企业员工的创新创效活力，为企业提供可持续发展的源动力。通过智慧矿山建设，全面提升煤矿生产、经营、管理的智能化水平。



图 2 系统架构图

3. 项目目标

通过智慧矿山建设，达到国家要求的智能化矿井目标：

2022 年建成国家级智能化示范煤矿，基本实现掘进工作面的减人提效、综采工作面内少人或无人操作、井下或露天煤矿固定岗位的无人值守与远程监控。

2025 年煤矿基本实现智能化，形成技术规范与标准体系，实现主要系统的智能化决策和自动化协同运行，实现智能连续作业和无人化运输。

2035 年煤矿实现智能化，多系统集成的煤矿智能化系统，建成智能感知、智能决策、自动执行的煤矿智能化体系。

8		综合管控平台	1	套
9	危险区域监测	井下变电所火灾变量监测系统	1	套
10		综合地质信息数据库	1	套
11		智慧水务	1	套
12		顶板灾害监测系统	1	套
13	生产设备故障识别	5G 数字孪生工作面生产系统应用	1	套
14		井下高清视频图像 5G 传输应用	1	套
15		护盾式快速掘进装备	1	套
16		“千眼”工程—智能主运输系统	1	套
17		选煤厂智能化改造	1	套
18	智慧矿区基础设施	应急管理 with 应急救援系统	1	套
19		5G+智慧矿区基础设施	1	套
20		智慧园区	1	套

2. 安全事件分析预警

1.1. 综合管控平台

建设综合管控平台，进行多部门、多专业、多管理层面的数据集中应用、交互共享和决策支持，实现煤矿地质勘探、巷道掘进、煤炭开采、主辅运输、通风排水、供液供电、安全防控等业务系统的数据融合、分析决策与智能联动控制，井上下各系统实现“监测、控制、管理”一体化及智能联动控制。



图 4 综合管控平台



图 5 生产执行系统

1.1.1. 安全监测泛在感知物联网应用

利用无线通信网络技术，研发基于 5G 网络、5G-IoT 等无线通信技术的矿井环境下氧气、一氧化碳、二氧化碳、甲烷、硫化氢、温度、湿度、压差等信息的多参数一体化无线传感器，建设环境安全多参数无线监测系统，通过在地面应用层融合安全监测监控系统、矿用分布式光纤测温系统、矿用激光多气体束管监测系统、微震监测系统、煤矿顶板与冲击地压监测系统等监测子系统，构建矿井安全监测泛在感知物联网应用系统，实现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，解决当前上述系统孤立、信息隔绝、无法协同分析生产环境、地质条件和水位信息背后的潜在安全风险和隐患。

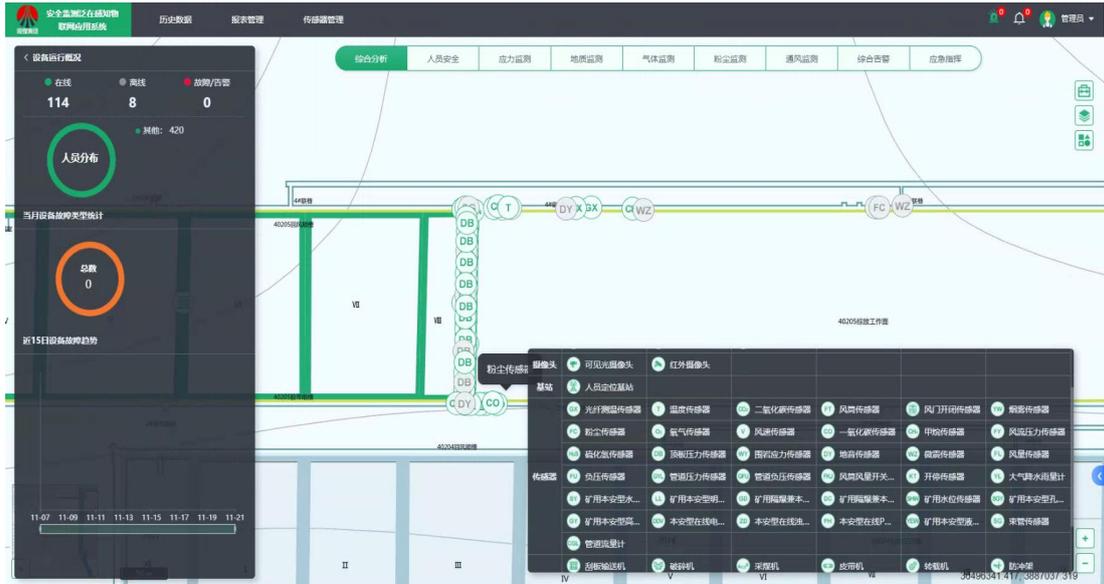


图 6 安全事件分析预警



图 7 人员定位系统图



图 8 设备实况

1.1.2. 40205 综放工作面智能化系统功能升级

实现直线度检测、防碰撞检测控制功能；采煤机实现人员接近自动停机功能；与工作面地质保障系统联动，实现采煤机自适应割煤功能；刮板输送机实现链条自动张紧功能；胶带输送机实现异物检测和带速智能调节功能；工作面实现基于煤尘监测的智能喷雾降尘功能。

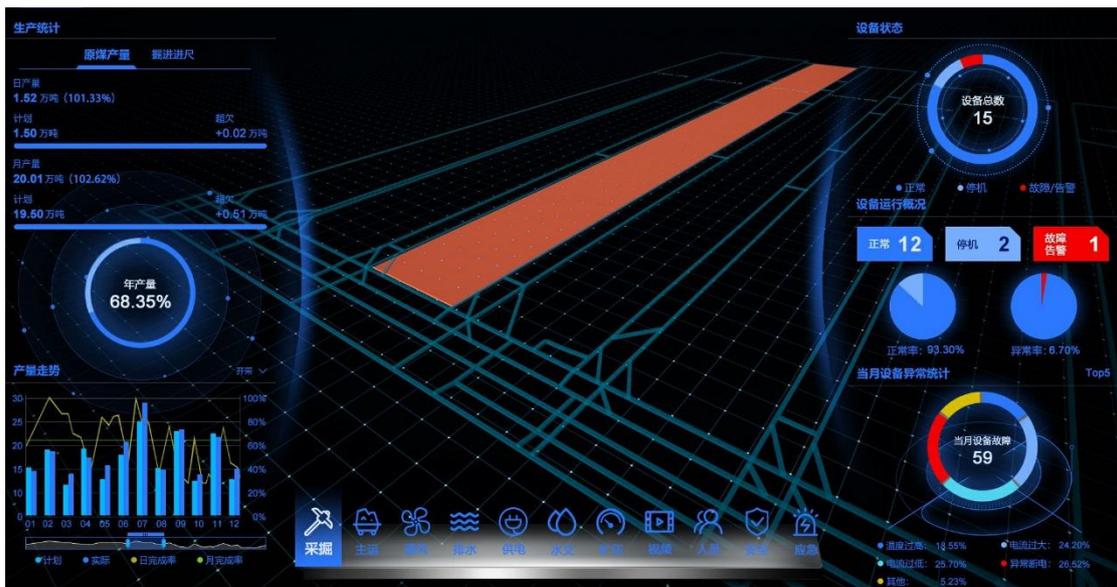


图 9 综放工作面智能化监测

1.1.3. 智能辅助运输系统

辅助运输系统重要运输交叉路口及运输区域实现闯红灯、超速等违章行为自动抓拍功能。

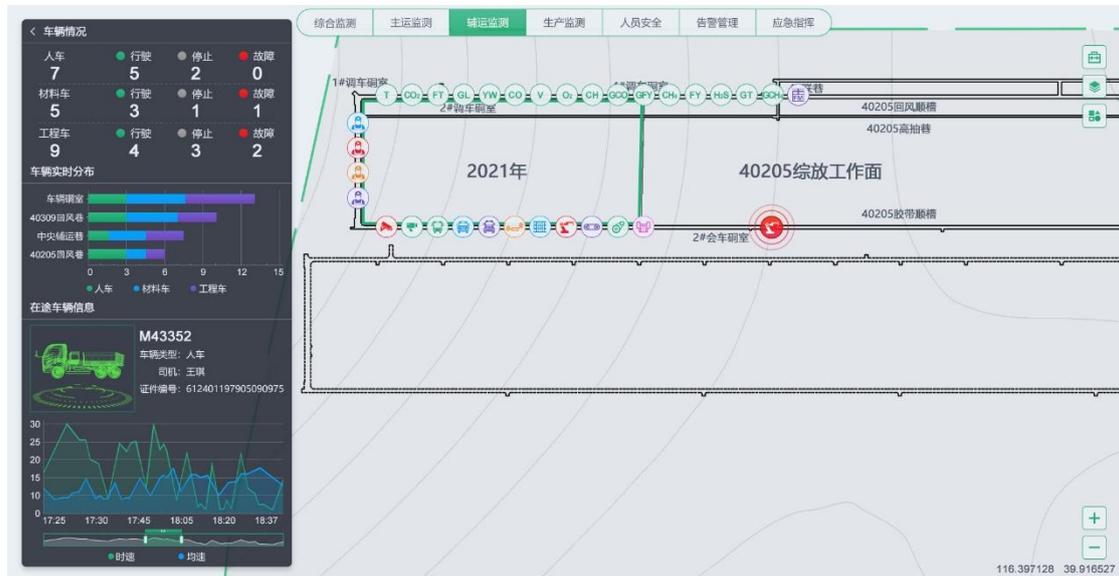


图 10 智能辅运监测

1.1.4. 智能通风系统

建立智能通风模块，具备通风网络动态解算功能，对用风点的需风量进行预测；对通风系统进行故障诊断与预测、预警。



图 11 智慧通风系统

1.1.5. 智能综合防尘系统

建设智能综合防尘系统，实现对井下粉尘浓度的实时监测、数据分析、上传及超限自动报警，在矿井粉尘易超限区域建设呼吸性粉尘及总尘监测设备、智能喷雾装置及智能降尘装置，实现粉尘浓度智能监测及远程降尘控制。

1.1.6. 智能风险管控系统及“千眼”工程

利用人工智能（AI）算法、NOSA 安健环管理体系，建设“千眼”规范操作视频监控系统工程，结合精确定位技术，实现采煤工作面、掘进工作面等场景作业违章视频智能识别以及人员进入危险区域监测报警（电子围栏）功能，并与刮板机、运输机、掘进机等设备联动闭锁。



图 12 智能风险管控系统及“千眼”工程

1.1.7. 多元灾害协同防治系统

建立智能灾害综合防治系统，将各灾害监测监控系统进行数据融合分析，实现灾害感知预警和灾害智能联合防治功能，具备事故风险智能模拟、应急救援辅助指挥功能，并具有对整体和主要采、掘、机、运、通系统安全状态进行实时评估的功能。

1.1.8. 综合管控平台

包含在综合管控平台内。实现人财物、成本管理、产运销管理、内部市场化

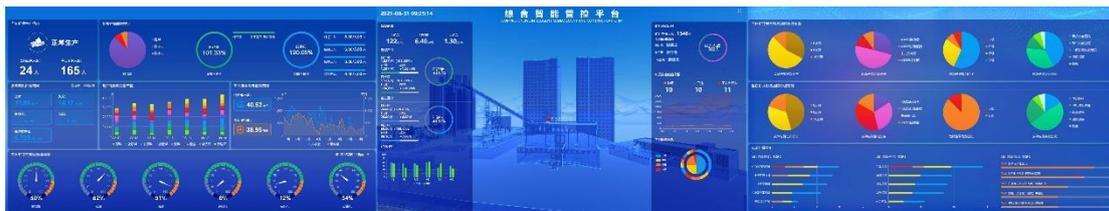


图 13 综合管控平台

1.2. 危险区域监测

1.2.1. 井下火灾变量监测系统

建立井下可燃性气体监测系统和火灾预警系统。

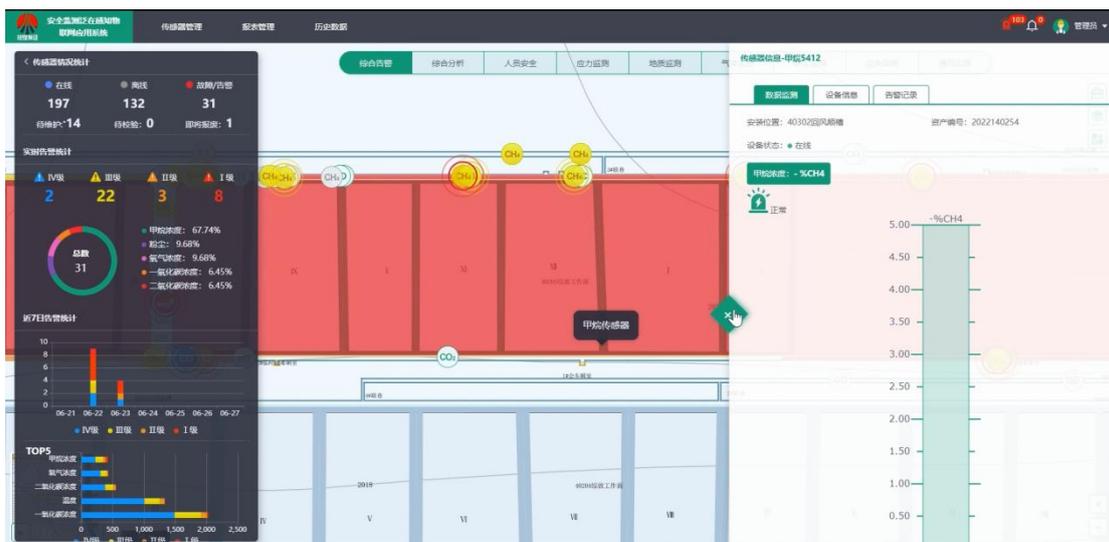


图 14 可燃性气体监测

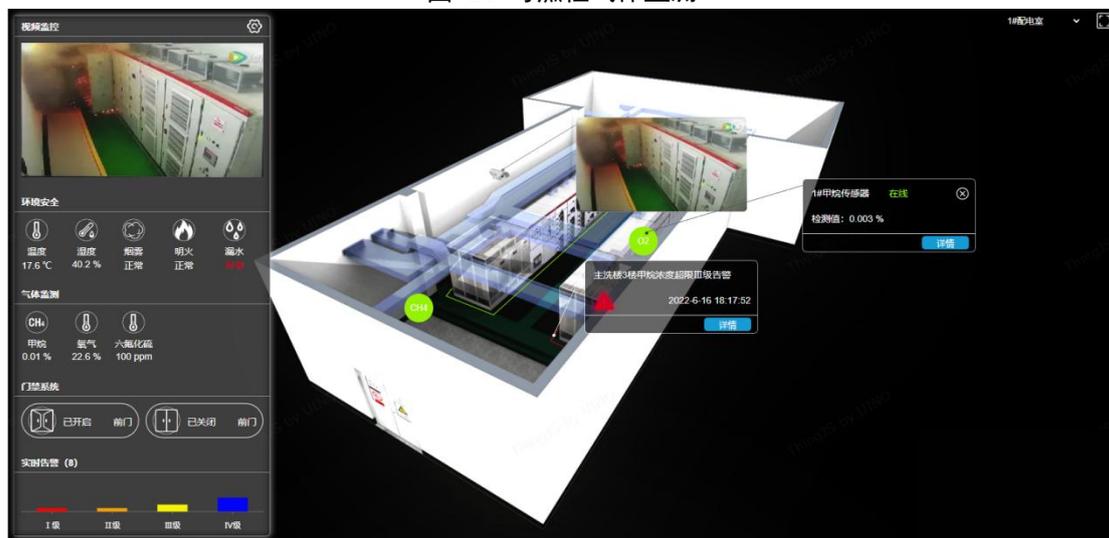


图 15 火灾预警系统

1.2.2. 综合地质信息数据库

以地质、物探、钻探、采掘、测量和水文监测等数字化信息为支撑，建设综合地质信息数据库，支持 C/S、B/S 架构的空间信息可视化，具备空间数据、属性数据以及时态数据的存储、转换、管理、查询、分析和可视化等功能，实现煤

矿生产过程地质信息的高效管理和数据共享。

1.2.3. 智慧水务

对整个矿区每个计量监测点位的自动采集终端配备无线远传设备,实现全矿水量数据的自动采集、存储及传输,构建矿区水平衡测试与计算分析模型,管网漏损定位与预警模型,工业用水考核指标分析模型,搭建小庄煤矿“智慧水务”平台,同时开发移动端应用 APP。



图 16 智慧水务

1.2.4. 顶板灾害监测系统

建设顶板灾害防治系统,实现顶板离层仪、锚杆测力计等装置监测数据自动上传、分析。

1.3. 生产设备故障识别

1.3.1. 5G 数字孪生工作面生产系统应用

通过建设基于 5G 无线技术采集、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,实时反映采掘工作面及设备的实时运行状况、实时性能、环境参数、突发扰动等的动态过程数据,形成物理模型相关数据,数字模型的驱动因素、环境扰动、运行机制等行为模型相关评估、分析、预测等数据和模型,最终建立工作面生产、设备、安全知识和管理数据。

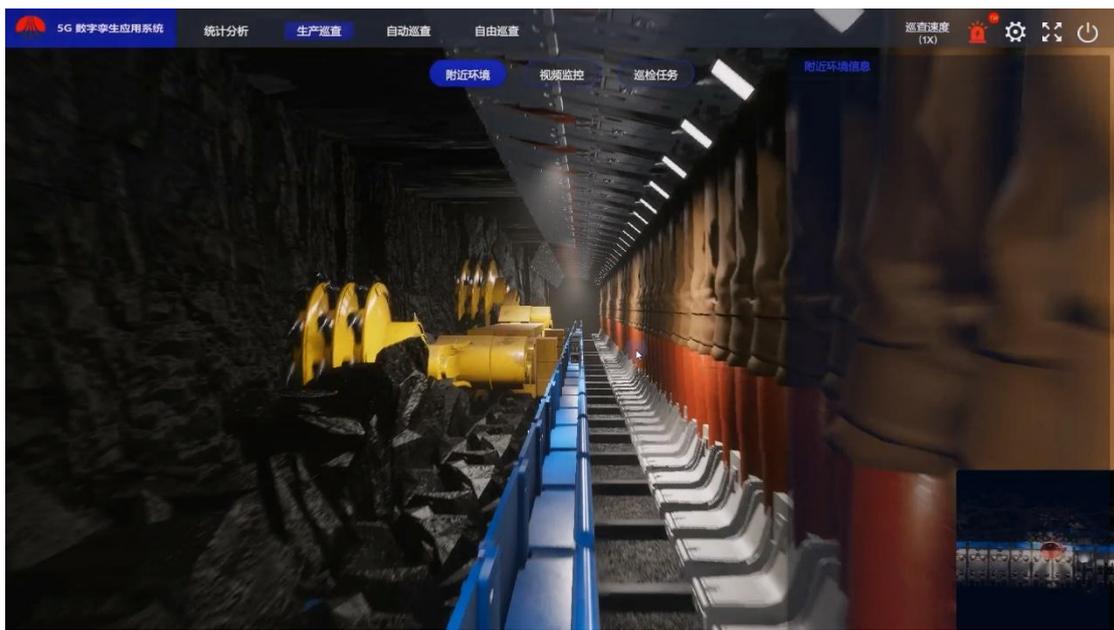


图 17 设备仿真

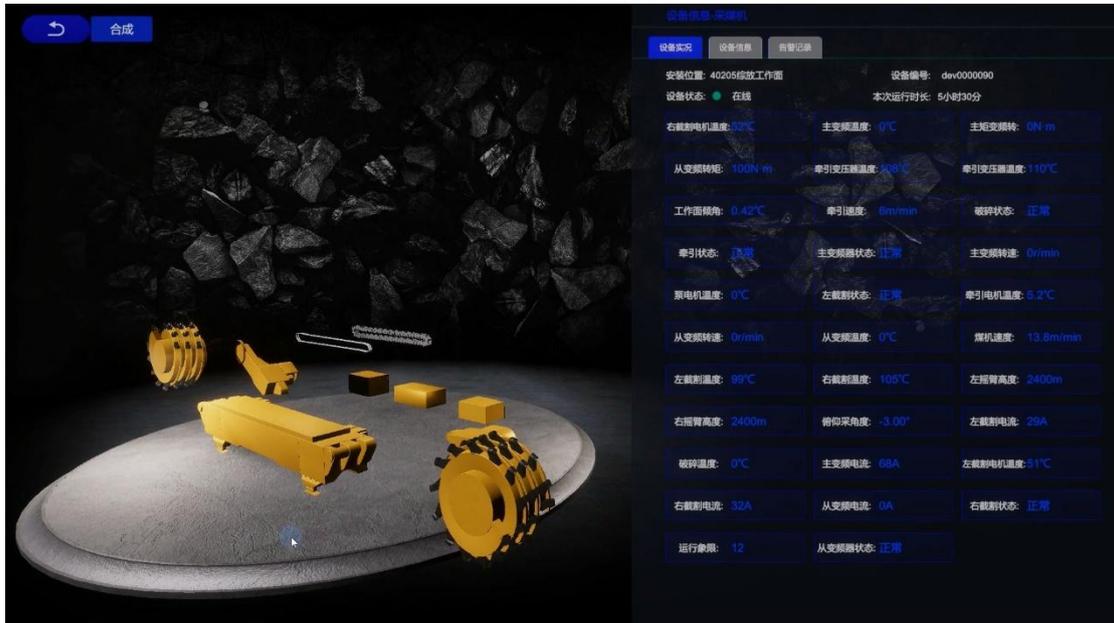


图 18 设备信息状态数据采集分析

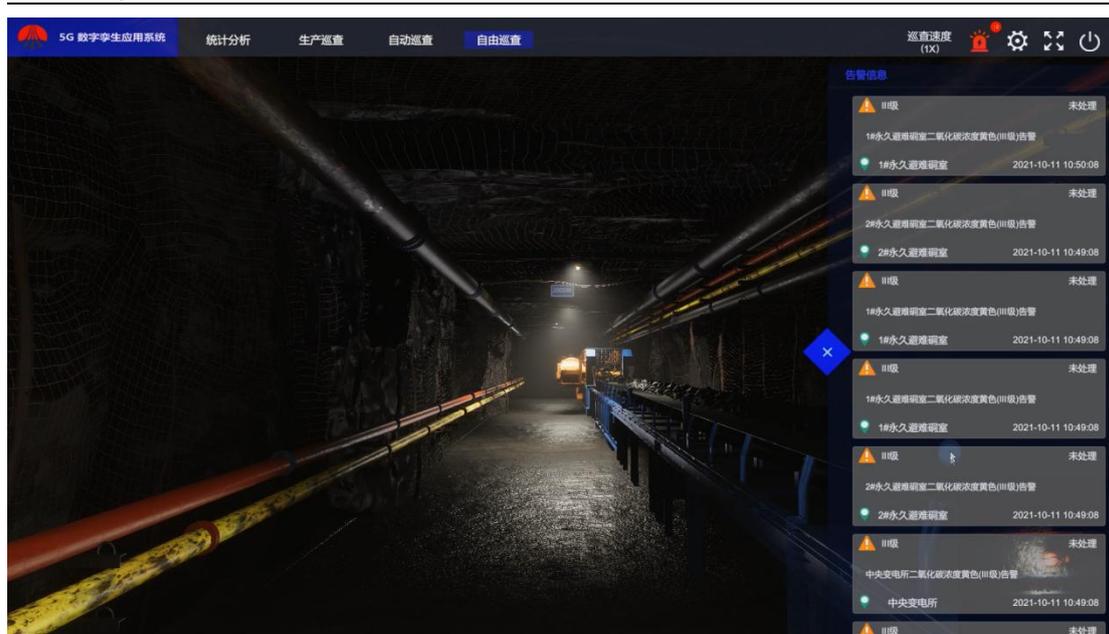


图 19 故障预警

1.3.2. 井下高清视频图像 5G 传输应用

构建基于井下云-边-端的基于 5G 矿用本安可见光高清摄像仪与红外热成像摄像仪等的多场景无线视频网络系统。通过视频图像采集与 AI 智能识别技术，构建小庄煤矿智能化监控系统，实现对设备安全、区域安全管理等的图像数据采集与智能分析。通过对关键部位架设可见光摄像仪、红外摄像仪等设备，实时监测并上传图像数据，并利用 AI 视频图像识别技术，进行综合分析与预/报警管理。

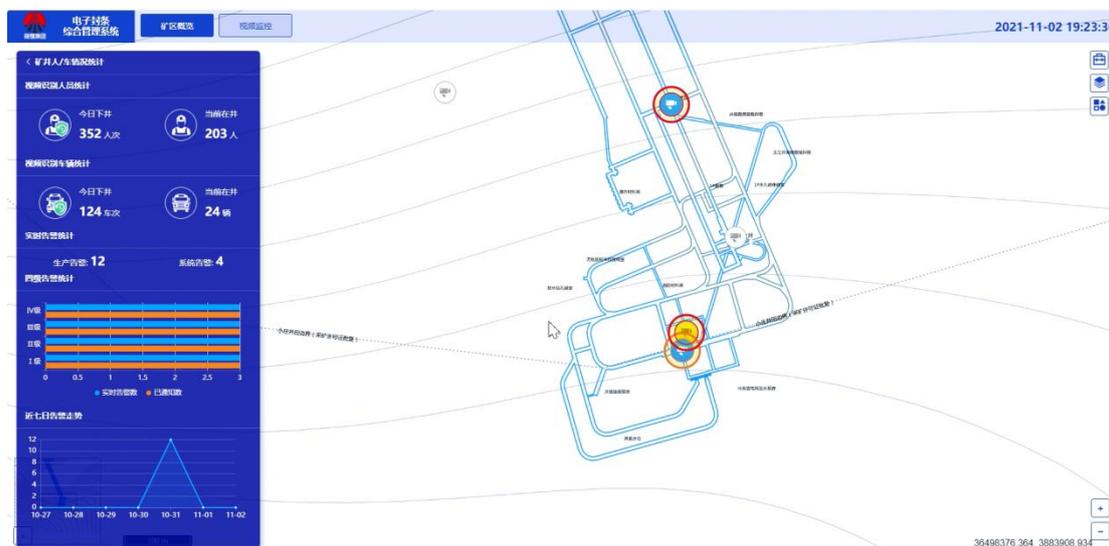


图 20 井下高清视频图像 5G 传输应用

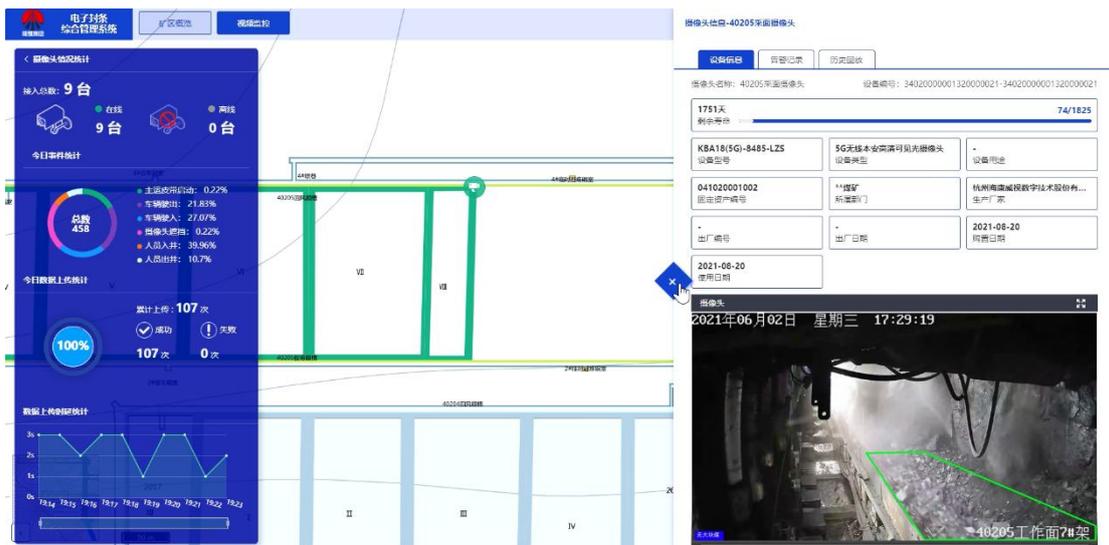


图 21 井下高清视频设备信息



图 22 中央变电所 5G 摄像头



图 23 井下 5G 摄像头



图 24 井下 5G 基站

1.3.3. 护盾式快速掘进装备

护盾式快速掘进装备，实现智能化快速掘进要求的功能。具有自主定位、定向功能，具有自主感知位置、姿态、方向功能，实现自动纠偏等功能；掘进设备具备自动截割功能，实现远程遥控截割与行走；配备巷道临时支护设备，满足临时支护机械化作业；具备掘进工作面超前探测信息三维建模功能，能基于巷道掘进过程揭露信息进行模型自动更新；建设井下掘进系统集成控制中心或地面集控中心，实现掘、支、锚、运、破的集中控制。



图 25 快速掘进设备

1.3.4. “千眼”工程—智能主运输系统

实现基于 AI 技术的皮带空载、跑偏、大块煤、堆煤、异物、人员违规穿越皮带等监测功能，可以智能识别人员违规作业；实现主煤流运输系统环境监测预警功能（烟雾、粉尘、明火等）。



图 26 智能主运输系统

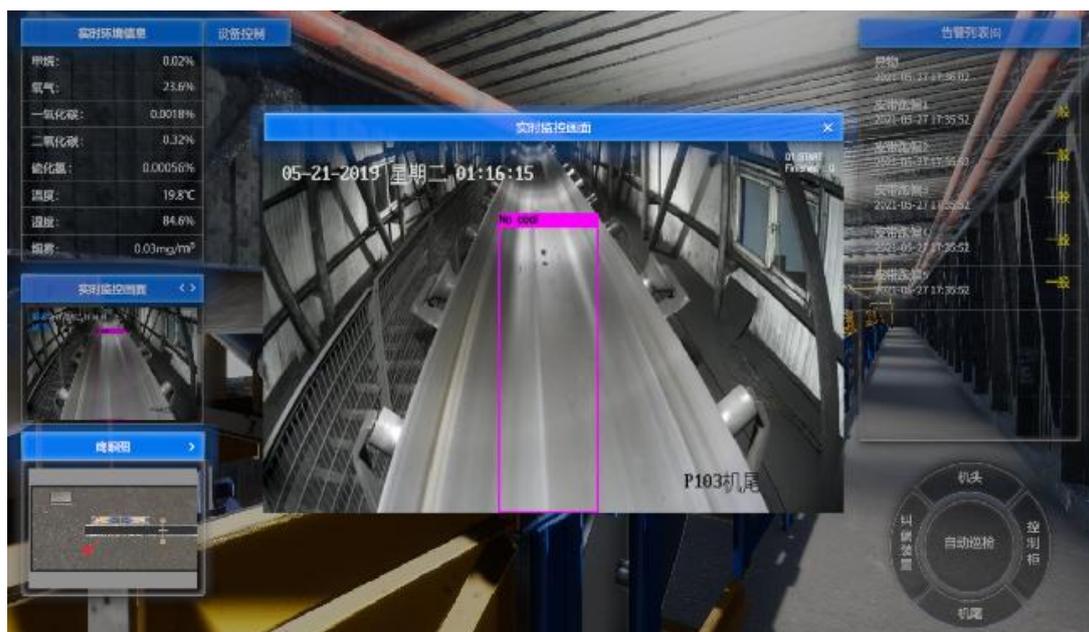


图 27 智能异物检测



图 28 智能巡检

1.3.5. 选煤厂智能化改造

按照《智能化煤矿验收办法—选煤厂智能化验收办法》中智能选煤系统考核评分表中的项目内容对原有选煤系统进行智能化改造,包括基础平台(网络平台、云平台、数据中心、专家知识库、系统安全、交互平台)建设、基础自动化(设备及仪表监测与保护、工艺生产环境自动化、辅助环节自动化)升级、生产过程智能控制(智能分选、智能浓缩、智能压滤)、智能集控、智能视频、智能管理决策、三维可视化等功能。

1.4. 智慧矿区基础设施

1.4.1. 应急管理与应急救援系统

建设应急管理与应急救援系统，建立实景三维应急管理平台，融合井下安全监测、调度通信、应急广播、人员定位、视频监控系统，实现生产事故应急预案管理、灾害预警、信息发布、应急响应一体化、应急救援指挥可视化、应急资源共享，辅助实现矿井事故应急演练等功能。

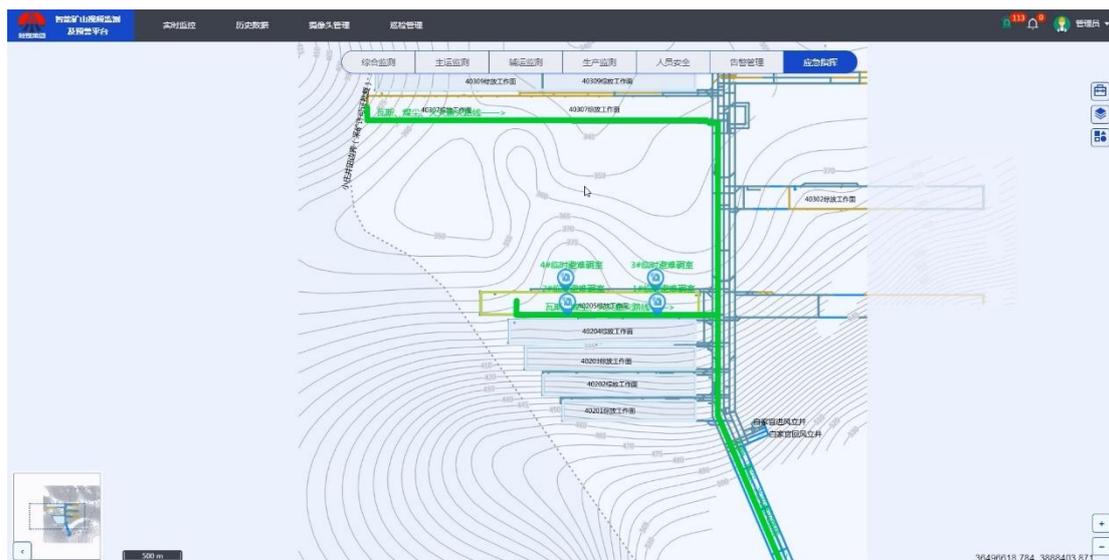


图 29 应急管理与应急救援系统

1.4.2. 5G+智慧矿区基础设施

模块化数据机房为各类 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、交换机和磁盘阵列为主，承担机房核心的网络业务。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。

数据中心机房建设的目标是：适应企业信息化发展需要，满足数据中心对运行环境的高可靠性要求，有效降低机房运行维护成本，提高防灾减灾能力，为信息系统提供安全、稳定的运行支撑环境。



图 30 模块化机柜



图 31 5G 基站

1.4.3. 智慧园区

建设智能园区管控系统，实现智能安防、智能车辆管理、智能访客管理、智能信息发布管理功能，形成全面感知、实时互联、动态预测、协同控制的智能园区管控系统。



图 32 智慧园区

3. 网络、平台或安全互联架构（一个或多个均可）

对矿井数据中心及 5G 网络场景下的工业控制系统进行网络安全防护，从安全区域边界、安全通信网络及安全计算环境出发，结合智能矿井生产场景，利用“白名单”、“工控设备无损扫描”等技术实现区域隔离、网络攻击检测、业务行为模型建立、主机运行环境锁定、日志审计分析、未知漏洞挖掘、已知漏洞检测等，最终实现安全态势分析，保障数据中心及 5G 场景下的智能矿井生产业务正常运转。

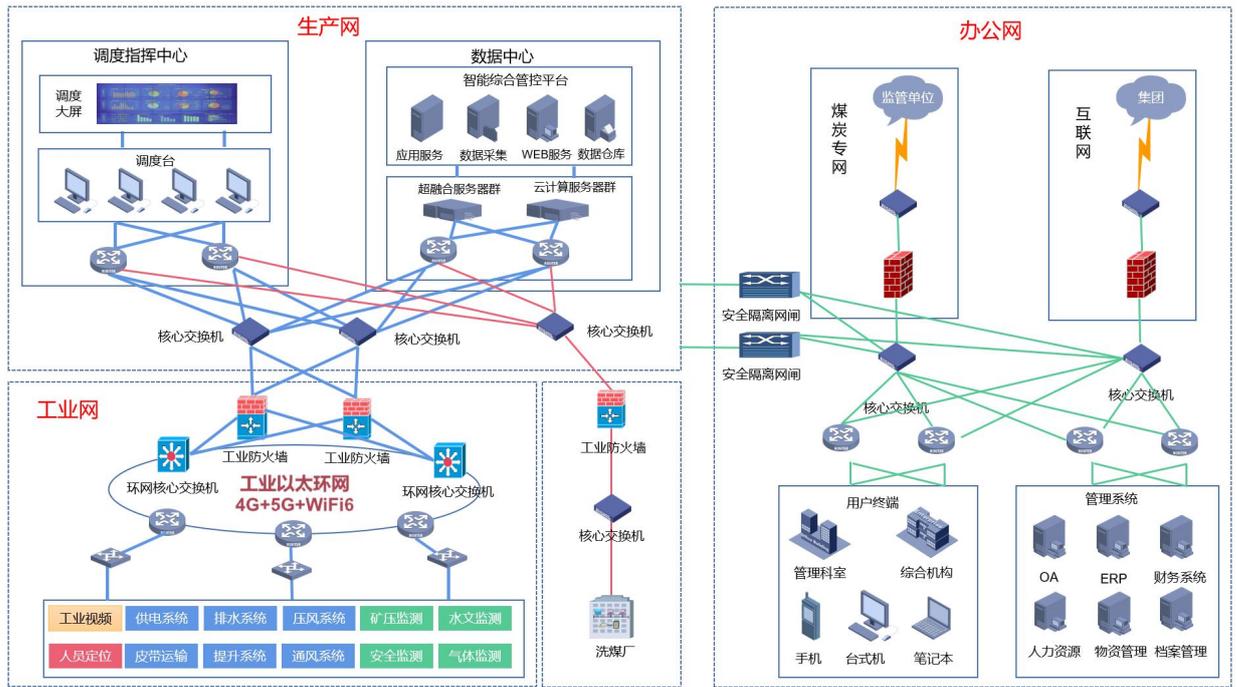


图 33 煤矿网络通信方案

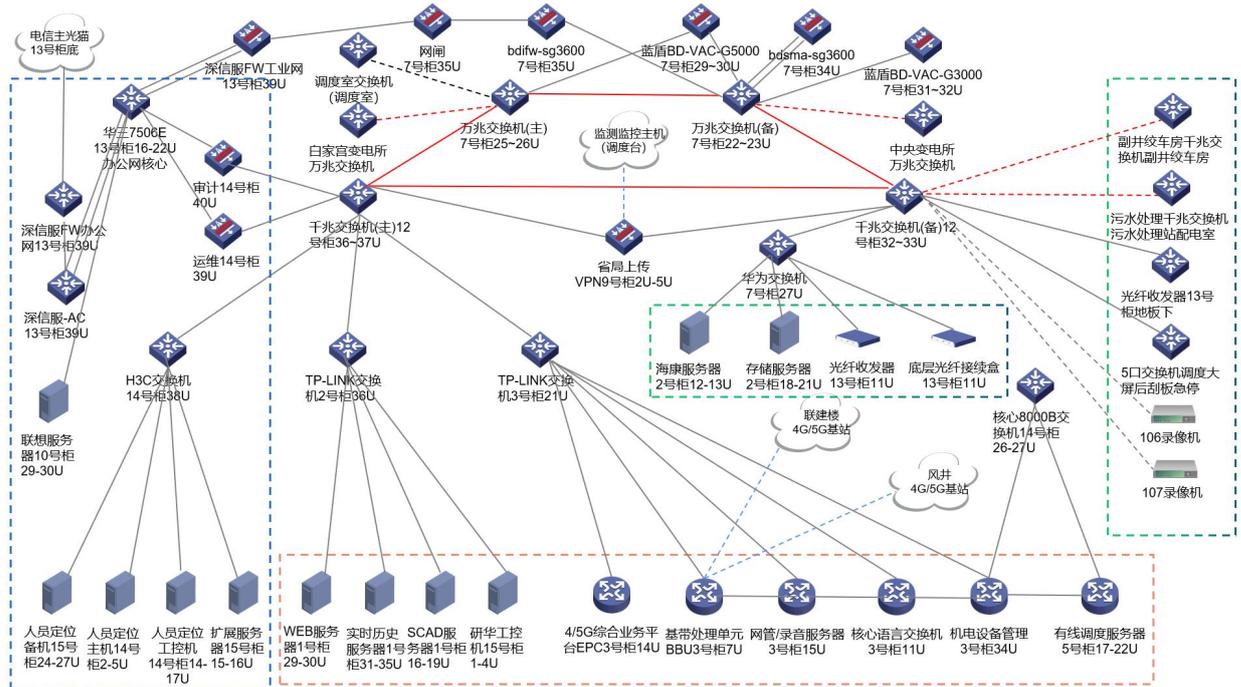


图 34 小庄网络拓扑图

4. 具体应用场景和应用模式

彬长小庄矿业地处水、火、瓦斯、煤尘、顶板、地热和矿压等灾害严重的多元灾害耦合叠加的黄陇彬长矿区，面对储煤环境复杂，地质条件不稳定，CO、

CO₂、CH₄、H₂S、SO₂、NO₂、C₂H₂ 等有害气体种类多、组分复杂的关中矿区开展灾害风险分时、分地、分级、分类预警，基于风险预警后的隐患排查机制和失察应对机制研究，项目的实施和推广将解决制约矿山智能化发展和矿区安全生产的瓶颈。

彬长小庄矿业作为集团智能化试点矿井，拥有智慧矿山工业互联网软件平台设计开发能力，国家级重点实验室/工程中心的科研转化能力，智慧矿区和工业互联网落地验证项目（安全管理和灾害监测类），国际、国家和行业工业互联网和安全标准制定能力，在地质灾害治理和安全生产技术研究方面于 2017-2019 年获得国家科学技术进步奖、中国煤炭工业科学技术奖等三项大奖。

11 月 4 日，小庄矿业“5G+智慧矿区”项目作为重点案例，由国家产业互联网专家委员会主任、应急管理部矿山智能化专家委员会专家，“国家千人计划”专家范济安教授书面汇报矿山安监局安全基础司、工业和信息化部通信管理局。接下来，项目将在陕西煤业化工集团 37 对生产矿井复制，进而在全国同类型矿井约 1300 对复制。根据国家矿山安全监察局的建议，项目还可在地面矿山和能源行业复制。

5. 其他亮点

- 生产环境中的采掘系统、“三机”系统、主通风系统、供配电系统等的基于数字孪生的信息采集、图像感知；



图 35 工作面集控系统

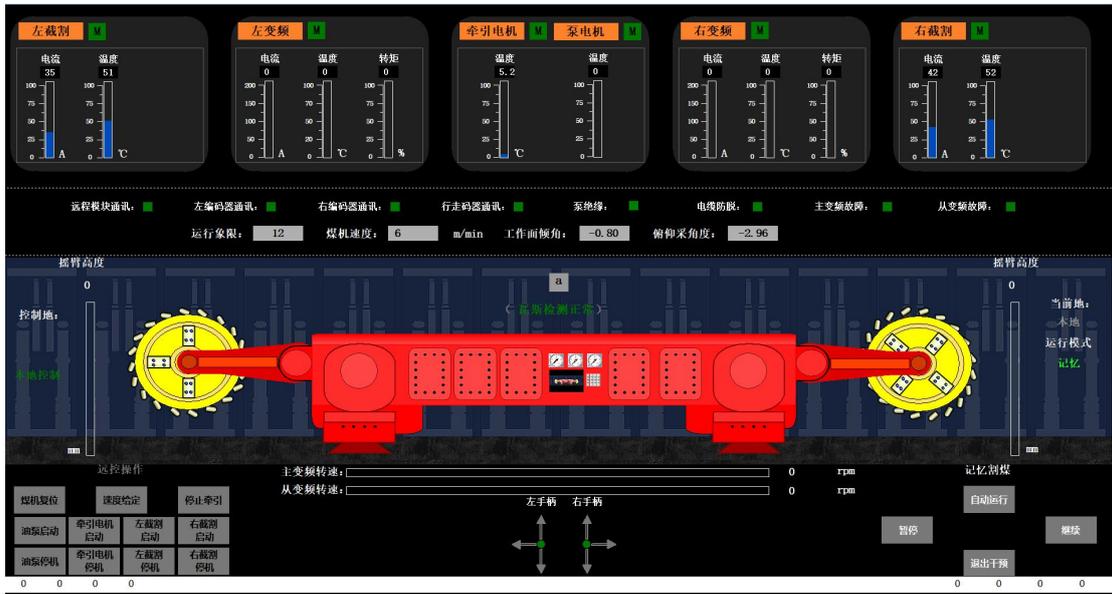


图 36 采煤机集控系统

- 安全环境中氧气、粉尘、一氧化碳、甲烷、硫化氢、二氧化碳等信息无线采集的全方位实时监测及预控。

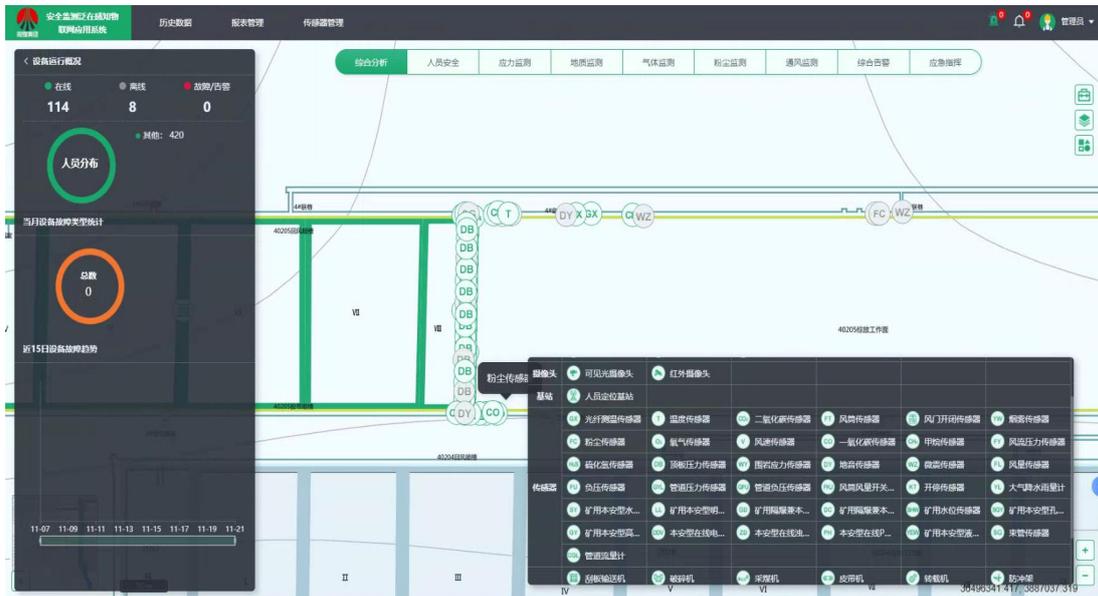


图 37 安全事件分析预警

- 完善 5G 数字孪生工作面生产系统应用。

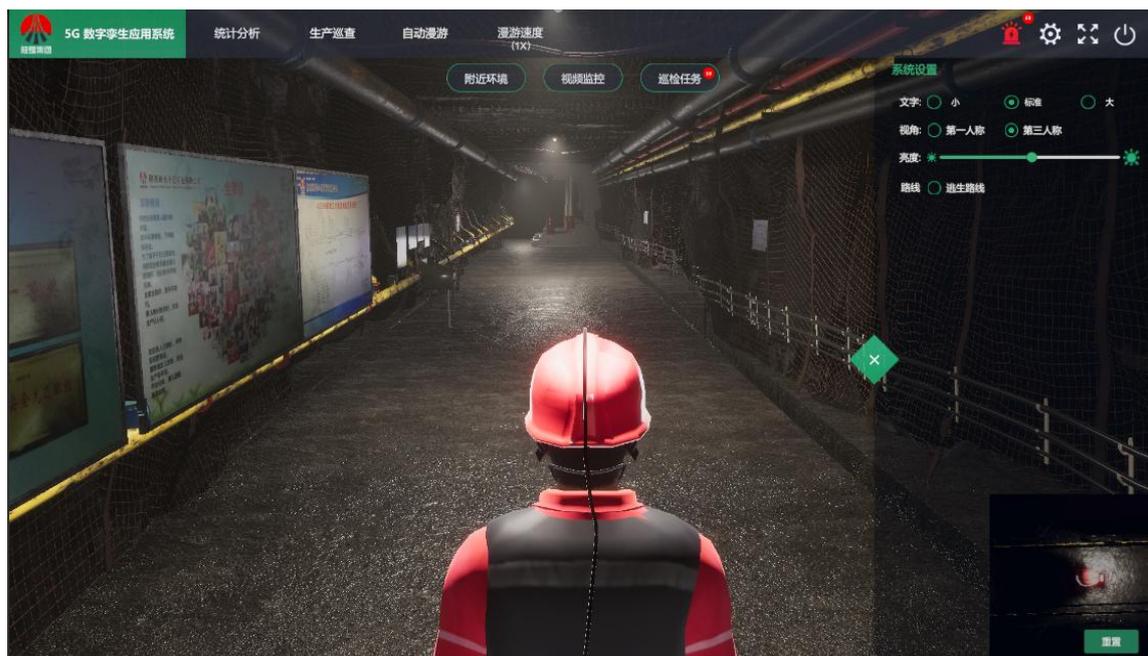


图 38 基于 RPG 的虚拟巡检

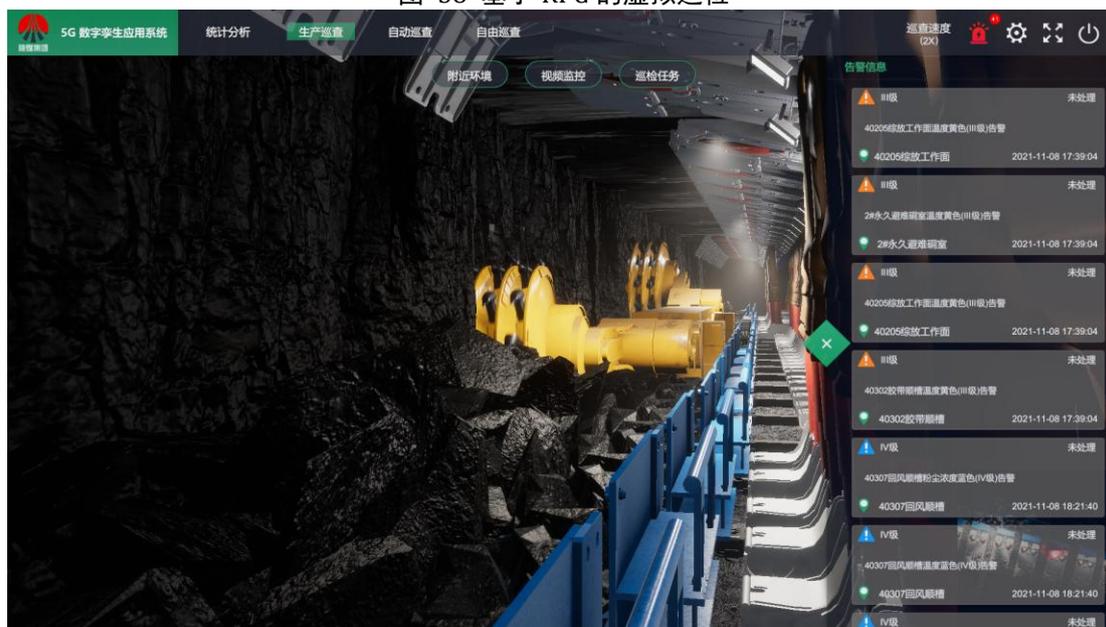


图 39 设备仿真

利用“数字化”、“网络化”和“智能化”的智慧矿山实施路径,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。

小庄矿业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。11月15日人民日报对陕煤彬长矿区安全生产成绩做了报道。

人民日报 2023年11月15日 星期一 11 经济

新技术与传统产业加速融合，助力矿业提质增效

井上操控更省心 井下作业更安全

本报记者 冯林 冯林 冯林 冯林 冯林

物联网传统产业转型升级 聚焦“5G+工业互联网”

近日，在陕西彬长矿区，随着5G+工业互联网的深入应用，矿山安全生产水平不断提升。在井下作业现场，通过5G+工业互联网技术，实现了井下作业环境的实时监测、设备故障的实时预警、人员位置的实时追踪等。这不仅提高了作业效率，更保障了矿工的安全。

核心阅读

开采更精确，检测更高效，数据共享更便捷——近年来，“5G+工业互联网”加速与传统产业深度融合，成为推动传统产业转型升级的重要力量。在矿业领域，5G+工业互联网的应用，实现了井下作业环境的实时监测、设备故障的实时预警、人员位置的实时追踪等，有效提升了矿山安全生产水平。

远程操作，安全又精准，技能要求高

随着5G+工业互联网的深入应用，井下作业实现了远程操控。通过5G网络，操作人员可以在地面通过大屏幕实时监控井下作业情况，并进行精准操控。这不仅提高了作业效率，更保障了矿工的安全。同时，远程操作也对操作人员提出了更高的要求，需要具备专业的技能和丰富的经验。

智能巡检，成本在下降，效率在提升

通过5G+工业互联网技术，实现了井下作业的智能巡检。通过部署智能巡检机器人，可以实现对井下作业环境的实时监测和故障预警。这不仅降低了巡检成本，更提高了巡检效率。同时，智能巡检还可以实现对设备运行状态的实时监测，及时发现设备故障，避免事故的发生。

协同作业，全流程共享，智能化程度高

通过5G+工业互联网技术，实现了井下作业的协同作业。通过部署协同作业系统，可以实现井下作业各环节的协同作业。这不仅提高了作业效率，更保障了矿工的安全。同时，协同作业还可以实现对作业流程的实时监控和优化，提高作业的安全性和效率。

加快行业应用复制推广

随着5G+工业互联网在矿业领域的深入应用，其成功经验正在向其他行业复制推广。通过总结矿业领域的成功经验，可以为其他行业的数字化转型提供参考和借鉴。同时，政府和企业也应加大对5G+工业互联网的支持力度，推动其在更多领域的应用和普及。

图 40 人民日报点评

三、项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

项目实现了监测实时化、控制自动化、安全本质化、管理信息化、业务协同化、专业模块化、决策智能化等“七大功能”；并完成“通过智能化建设安全水平大提升”、“通过智能化矿井建设全员工效大提升”，“通过智能化建设企业效益大提升”三个目的。项目成果在国际和国内首次实现了以下几点突破：

表 2 解决方案的创新性及项目成果

序号	项目成果
1	首次传感器、摄像头，5G 模组，算力服务器/GPU 服务器全部中国芯
2	国内首次实现 5G 独立组网（SA）通信技术的高清视频采集
3	采掘工作面生产环境的高清视频多场景 AI 图像识别
4	采掘工作面 5G 物联网安全监控传感器联合应用
5	综放工作面的生产数字孪生

6	采掘设备全生命周期动态管理
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	多元灾害耦合协同治理的矿井安全监控的风险分级分类预警
9	安全隐患溯因与对策、隐患智能识别

2. 实施效果

项目的实施可有效降低煤炭生产成本，提升吨煤生产效率，全面打造煤炭智能化系统，最大程度地提升煤炭企业的综合效率和管理水平。

2.1. 项目经济效益预测

陕西煤业化工集团 2020 年煤炭产量 1.95 亿吨基数计算，新增 1.3% 效益新增 253.5 万吨，按照中国煤炭运销协会通知 2022 年煤炭中长期合同的基准价为每吨 1550 元为参考基数，可实现销售额增加 39.29 亿元。

2.2. 项目社会效益预测

本项目建设完成后预期目标是实现“两解放”、“两提高”和“一保障”。即将煤炭工人从艰苦危险的环境和高强度体力劳动岗位解放出来；提高企业的科技装备水平和煤矿职工的社会地位；实现煤矿井下作业“少人则安，无人则安”。

2.3. 生态效益指标

本项目建设完成后预期可减少二氧化碳排放量 297.2 万立方米/年，粉尘排放量 1593.19 吨/年。

2.4. 项目所获荣誉

该项目荣获工信部 2021 年“工业互联网试点示范项目”工业互联网+安全生产解决方案示范。



图 41 工信部 2021 年工业互联网名单公示

二、平台集成创新应用			
1、工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范			
序号	项目名称	申报单位	推荐单位
1	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (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)	陕西彬长小庄矿业有限公司	陕西省工业和信息化厅
2	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (基于“核+北斗”工业互联网平台的安全环保智能管控解决方案)	核工业计算机应用研究所	中国核工业集团有限公司
3	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (安智 D-HSE 安全生产一体化监管平台)	北京德风新征程科技有限公司	北京市经济和信息化局
4	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (长征云安全生产监管解决方案)	航天新长征大道科技有限公司	中国工业互联网研究院
5	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (面向冶金及化工行业的“工业互联网+安全生产”解决方案)	上海宝信软件股份有限公司	中国宝武钢铁集团有限公司
6	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (安全风险动态指数预警及应急综合管控平台)	山东能源集团有限公司	中国工业互联网研究院
7	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (聚通智能化工安全云服务平台)	山东渤聚通云计算有限公司	山东省工业和信息化厅
8	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (工业危险废物全生命周期治理数字化解决方案)	北京奇虎科技有限公司	北京市通信管理局
9	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (鲁抗医药智慧运营工业互联网平台)	山东鲁抗医药股份有限公司	山东省通信管理局
10	工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范 (化工安全生产工业互联网平台)	南京安元科技有限公司	江苏省工业和信息化厅

图 42 工业互联网平台+安全生产解决方案试点示范名单