

全国煤矿智能化建设典型案例汇编 (2023年)

国家能源局

2023年6月

前 言

近年来，各产煤省区、煤炭企业认真贯彻落实党中央、国务院加快新一代信息技术与传统产业融合发展的决策部署，创造性推进煤矿智能化建设，涌现出了一大批技术先进、管理科学、运行可靠的煤矿，为推动煤炭行业技术进步、装备提升、管理创新、效益改善做出了重要贡献。为充分发挥典型煤矿的示范引领带动作用，推动煤矿智能化建设迈向更高水平，国家能源局煤炭司组织 23 个产煤省区和 7 家涉煤中央企业，从全国范围征集遴选了 80 项智能化煤矿生产建设典型案例。

本次选出的 80 项煤矿智能化建设典型案例，是从各地、各企业推荐的 154 项典型案例中，经专家评选出的。案例覆盖信息基础设施、智能掘进、智能采煤、智能露天、智能运输、智能防灾、智能洗选 7 个方向。现编辑形成《全国煤矿智能化建设典型案例汇编（2023 年）》，供各地、各有关企业和研究机构在工作实践中学习借鉴。

目 录

第一章 信息基础设施	1
案例 1 老石旦煤矿 5G 系统与 AI 分析平台	2
案例 2 大海则煤矿 700MHz&2.6GHz 多频段云网融合系统.....	6
案例 3 刘庄煤矿感知矿山数据应用	11
案例 4 庞庞塔煤矿 5G+工业互联网应用	15
案例 5 王坡煤矿生产调度一体化管控系统.....	20
案例 6 伊犁一矿智慧矿山指挥中心建设.....	25
案例 7 小纪汗煤矿一张图数字化管理平台.....	32
案例 8 高河煤矿生产经营一体化智能管控平台.....	37
案例 9 新元煤矿作业流程智能管控平台.....	44
案例 10 张家峁煤矿智能化综合生态巨系统.....	48
案例 11 小纪汗煤矿智能地质保障系统.....	54
案例 12 杨柳煤矿地质三维建模与可视化系统.....	60
第二章 智能掘进	64
案例 13 黄白茨煤矿薄煤层智能采掘工作面.....	65
案例 14 布尔台煤矿一次成巷高机动性快速掘进工作面.....	70
案例 15 鲍店煤矿记忆截割掘进工作面.....	74
案例 16 小保当煤矿大断面煤巷护盾式快速掘进系统.....	78
案例 17 大柳塔煤矿 5G+连采机器人协同作业系统	83
案例 18 曹家滩煤矿大断面智能快速掘进工作面.....	88
案例 19 隆德煤矿 5G+智能连掘系统	94
案例 20 华阳一矿高抽巷全断面快速掘进系统.....	102
案例 21 可可盖煤矿超长斜井全断面智能掘进系统.....	105
案例 22 山脚树矿 5G+智能化综掘系统	109
第三章 智能采煤	122
案例 23 保德煤矿基于 F5G 网络的采放协同工作面	123
案例 24 金凤煤矿透明化综采工作面.....	126

案例 25 华宁煤矿一次采全高智能化工作面.....	130
案例 26 纳林河二号煤矿基于地质融合惯导的智能综采系统.....	134
案例 27 王家岭煤矿智能化综放工作面.....	139
案例 28 转龙湾煤矿中厚超长千万吨级智能综采工作面.....	143
案例 29 黄陵一矿基于透明地质规划截割的智能开采系统.....	149
案例 30 新巨龙煤矿智能化采煤工作面.....	155
案例 31 小保当煤矿 450m 超长智能开采工作面	162
案例 32 龙王沟煤矿特厚煤层智能高效综放工作面.....	166
案例 33 三元煤矿智能综采工作面.....	170
案例 34 顾桥煤矿 5G+智能化综采工作面	173
案例 35 钱家营煤矿薄煤层智能化开采工作面.....	180
案例 36 平宝煤矿 5G+智能化采煤系统	184
案例 37 龙滩煤矿复杂地质条件薄煤层智能化开采工作面.....	191
案例 38 嘉阳煤矿薄煤层智能化综采工作面.....	196
案例 39 麻地梁煤矿 5G+智能开采系统	201
案例 40 晓南煤矿智能化采煤工作面.....	207
案例 41 东怀煤矿 5G+智能综采工作面	214
第四章 智能露天.....	221
案例 42 宝日希勒露天煤矿极寒环境下 5G+无人驾驶卡车编组运行	222
案例 43 西湾露天煤矿 5G 多频混合组网与矿卡无人驾驶.....	227
案例 44 胜利能源露天矿基于机器人的智慧运维新模式.....	236
案例 45 东露天煤矿基于 5G 网络多车编组常态化运行.....	240
案例 46 伊敏露天矿 5G+无人驾驶绿色清洁运输新模式	245
案例 47 北露天煤矿卡车无人驾驶融合调度系统.....	249
案例 48 扎哈淖尔煤矿输煤智慧消防系统.....	252
案例 49 五彩湾一号露天煤矿智慧物流平台.....	254
案例 50 南露天煤矿 5G+无人驾驶系统	259
第五章 智能运输.....	265
案例 51 上湾煤矿辅助运输绿电+无人驾驶系统	266
案例 52 唐口煤矿立井提升智能化控制系统.....	269
案例 53 赵楼煤矿辅助运输精准调度系统.....	275

案例 54 塔山煤矿辅助运输安全智能管控系统.....	281
案例 55 九龙煤矿辅助运输智能调度系统.....	286
案例 56 赵固二矿单轨吊车智能化管理系统.....	290
第六章 智能防灾.....	293
案例 57 乌东煤矿冲击地压多元融合智能监测预警系统.....	294
案例 58 布尔台煤矿灾害综合预警监控系统.....	300
案例 59 大海则煤矿智能巡检和辅助作业机器人应用.....	306
案例 60 王家岭煤矿全矿井 AI 视频安全管理系统	310
案例 61 付村煤矿通风系统智能决策与动态管控平台.....	313
案例 62 郭屯煤矿设备健康管理及故障诊断系统.....	318
案例 63 东滩煤矿智能通风系统.....	331
案例 64 小庄煤矿复杂地质条件下 5G+安全管控系统	335
案例 65 黄陵一矿综采智能安全管控系统.....	342
案例 66 砚北煤矿冲击地压多参量综合预警云平台.....	345
案例 67 龙王沟煤矿动力灾害精准防控系统.....	350
案例 68 张双楼煤矿深井开采多元灾害智能化防治平台.....	356
案例 69 俄霍布拉克煤矿工作面智能监控系统.....	362
案例 70 新田煤矿 5G 专网与视频 AI 分析系统	365
案例 71 高河煤矿智能供电系统.....	368
案例 72 杨家村煤矿井下零散排水点智能控制系统.....	374
第七章 智能洗选.....	381
案例 73 准能选煤厂两级标准选煤数据库及管理系统.....	382
案例 74 骆驼山洗煤厂关键设备故障监测与预测性维护系统.....	388
案例 75 神东选煤厂智能决策系统.....	392
案例 76 金鸡滩煤矿快速定量智能化装车系统.....	399
案例 77 沙曲选煤厂重介智能分选系统.....	405
案例 78 鱼卡一号井智能化选矸系统.....	408
案例 79 龙泽选煤厂智能干选系统.....	412
案例 80 王坡煤矿装车智能管理系统.....	417

第一章 信息基础设施

案例 1 老石旦煤矿 5G 系统与 AI 分析平台

主要完成单位：国家能源集团乌海能源有限责任公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

老石旦煤矿位于内蒙古自治区桌子山煤田西翼的老石旦矿区，隶属于国家能源集团乌海能源有限责任公司，行政区划归于乌海市海南区管辖。矿区走向长 7.12km，宽 1.7km，面积为 9.7766km²。

矿井为低瓦斯煤矿，核定生产能力为 1.50Mt/a，可采储量为 21.63Mt，水文地质类型为中等。开拓方式为斜立井混合式开拓，采用单一水平开采，现布置 1 个综放工作面和 2 个综掘工作面，是乌海市首家推广应用 5G 无线通信网络的智能化矿井。

（二）建设现状

乌海能源公司老石旦煤矿从 2020 年开始 5G 无线调度通讯系统服务项目建设，项目建设单位为中国移动通信集团内蒙古有限公司乌海分公司，建设规划为：中国移动提供 5G 核心网网络，通过 PTN 传输网连接到矿上，矿上部署 MEC+UPF，BBU 通过光缆和 RRU 连接，井下还可以提供具有煤安证的 CPE、5G 手机、4K 高清摄像仪等终端。

根据老石旦煤矿现状及要求，按照基于 5G 调度通信系统部署井下无线信号覆盖，其组网架构如图 1 所示。



图 1 5G 调度通信系统组网架构

目前，井下已安装 5G 基站 40 套，矿井地面和井下已实现 5G 信号全覆盖。基于 5G 网络应用方面，目前实现井上下视频通话、AI 智能分析系统、全景工作面、智能矿灯等应用。

（三）煤矿 AI 智能分析平台应用

AI 核心技术是首次融入到煤矿安全生产工作中，应用在我矿的主运输系统及智能检身系统中，与主运输相关设备实现互联互通，实时将识别信息以预警、报警的方式上传到调度大厅，为值守人员提供决策依据。

利用布置在带式输送机沿线的摄像机实时监测，煤矿 AI 核心平台现场识别分析的机器视觉技术、边缘计算技术，对运行过程中空载、大块煤、异物、堆煤、跑偏、煤流量不均、煤重心不稳、人员违规穿越皮带、皮带坐人等进行智能识别，并及时进行告警及提醒；智能 AI 系统煤流量监控，可以有效分析监控皮带运行情况，后续可以通过智能变频实时调速以降低能耗。

（四）全景工作面应用

老石旦煤矿采用 4K 超高清视频与 5G 技术结合应用到实际生产过程中，实现采煤工作面的超高清视频监控、远程现场实时展示；在采煤工作面安装了 45 台 5G 高清网络摄像机，利用图像拼接技术将采煤工作面生成一个 360 度的全景图像。

采用 4K 的高清网络摄像机画质相比于 200 万像素，垂直分辨率更高，画面细节层次更精准，显示更清晰、更干净细腻、更给人以身临其境的感觉，通过全景工作面拼接软件实现整个工作面的展示。

（五）智能矿灯应用

智能矿灯是基于 5G 网络的应用，将照明、精确定位、语音调度、拍照、对讲、灯光报警、视频调度、本地记录、蓝牙连接等功能融为一体；通过智能矿灯，可以有效提升安全生产效率，对井下工作人员的安全管理提供极为有力的帮助，依托智能矿灯的视频通话、实时对讲等功能，我矿也将智能矿灯应用到了设备检修工作上，检修人员在井下利用矿灯与井上的专家进行实时连线，由专家指导检修人员进行设备维修，由于矿灯是直接佩戴在安全帽上的，因此检修人员解放了双手，可以一边连线，一边维修，极大的提升了检修效率。

（六）井上下视频通话

我矿为安全管理人员、岗位操作人员配备 5G 防爆手机 200 部，通过井下 5G 网络，实现与地面视频连线、语音通话、视频会议、隐患治理等功能，进一步提升矿井安全生产、隐患治理、智能办公的高效性、安全性。

二、技术特点及先进性

5G 矿井无线通讯网络可实现与万兆工业环网的无缝对接，全矿地面和井下实现 5G 信号全覆盖，适用于多种应用场景，将开启煤矿行业的物联网时代，并渗透进矿井各个智能化系统。利用 5G 网络高速率、低延时、广连接的优势，可实现井下采煤机的远程控制，海量连接可连接更多的终端，为此在 5G 网络上可增加更多的应用。

基于 5G 高速率，低延时，广连接的特点，老石旦煤矿已开发 5G+智能化应用场景有：①智能矿灯，实现照明、人员定位、语音调度、短信收发、拍照、对讲、灯光报警、视频调度、本地记录、蓝牙连接等功能；②全景工作面，采用无线传感器、无线摄像机，借助 5G 网络的高带宽、高可靠性实现所有传感数据、视频信息、参数控制信号的高速传输，同时作为有线控制总线的冗余网络，可以有效保证总线正常运转。最终实现在顺槽集控中心，甚至地面调度中心，完成对

采煤机、液压支架、运输三机、泵站系统的远程自动作业，实现真正的远程集中监控；③AI 智能分析平台，在 5G+MEC 平台上搭建 AI 智能分析平台，构建煤矿—前端两级平台，实现井下人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全因素等隐患智能分析、报警，构建业务应用平台，实现隐患报警处理、分析、上报，形成业务闭环，辅助监管人员，提升监管效率 20%，减少煤矿井下事故的发生。④智能移动终端，现已实现井上下 5G 信号全覆盖，并发放手持移智能动终端 200 部，可实现井上下实时视频通话，进一步降低了事故相应处置时间，为安全生产搭建了一条高速信息通道。⑤设备监测与报警系统，井下重要设备安装温震传感器，通过 CPE 与 5G 基站无线对接，上传数据到中央数据库，实现在线监测与智能分析，形成诊断报告。⑥智能供水系统，应用 5G 高速率实时传输供水水量、水位、流量等数据，通过一体化管控平台进行换算，实现智能供水，无人值守作业。

三、智能化建设成效

（一）安全风险进一步降低

智能化煤矿建设，变革了煤炭生产组织方式，提高了矿井自动化、信息化、智能化水平，有效提高生产效率，促进由劳动密集型向人才密集型转变作出积极的贡献，为打造煤炭产业升级版进行了有益探索，取得了良好的社会效应、经济效益和生产效率。通过固定岗位实现了无人值守，减少岗位用工。井下少人或无人，降低井下人员伤亡的可能性，减少由于矿井灾难所造成的损失，践行了“无人则安”的理念，促进了安全生产。

（二）作业人员进一步减少

随着煤炭开采实现自动化、信息化和智能化，固定岗位实现无人值守，重点岗位实现无人值守+机器人巡视，通过开拓设计、地质保障、精准预警、采掘、运输、通风、洗选等系统的智能化决策和自动化协同运行，形成完整配套的智能化生产、管理体系，石旦煤矿通过智能化系统建设及应用，转变岗位作业模式，以实现固定岗位无人值守、减少一线苦脏累作业人员为目标，截止到目前我矿已实现减员 112 人。

案例 2 大海则煤矿 700MHz&2.6GHz 多频段云网融合系统

主要完成单位：中煤陕西榆林能源化工有限公司

一、主要建设内容

5G 作为新一代移动通信技术，具有高速率、低时延等特点，满足了工业领域数字化、网络化、智能化需求，有力支撑了采矿行业的安全生产、提质增效、转型升级。本项目以在大海则煤矿智能化建设中的实际应用为基础，进一步推广“5G+煤炭”的融合发展模式。项目以研究 5G 多频段融合组网和应用为核心，旨在解决煤矿井下信号传输延迟，信号多样性，工作面设备布置繁多，采掘工作面拐弯、上山/下山环境起伏等死角覆盖难题。主要研究内容包含两方面，一是 5G 700 MHz+2.6 GHz 频段的研究，包括在大海则矿实施不同频率井上、井下覆盖的建设，5G 700M 基站仅接入本地专网核心网，提供专网 5G 覆盖服务，5G 2.6G 基站采用 MOCN 方式同时接入本地专网核心网和运营商公网核心网，提供公/专网两种方式的 5G 覆盖服务，实现基于覆盖规则进行全矿井井上/井下 5G 信号覆盖；二是云网融合技术的研究，内容为基于业务需求和技术创新并行驱动的创新型 5G 网络架构，使云和网高度协同，互为支撑，互为借鉴，要求 5G 承载网络可根据各类云服务需求按需开放网络能力，以云网融合平台（含 i5GC 和 IMS）基础设施来保障低时延、高可靠、大带宽的网络能力，实现网络环境（5G、WiFi、IOT 等）与虚拟化服务的快捷打通、按需互联，支撑远程控制、智能终端、移动巡检机器人等煤矿智能化应用。

5G 多频段（700 MHz+2.6 GHz）融合组网的建设完成，降低了整体的组网成本，提升了网络安全性的同时赋能工业控制、融合调度等应用。通过前期调研及规划，在大海则煤矿建设 5G 无线通信网络，实现大海则煤矿地面及井下无线信号无盲区覆盖和其他井下巷道部分无线信号覆盖，构建矿山“多元化”云网融合平台，为未来无人驾驶、自主导航运输、无人采掘、远程工业控制等应用提供低时延、广连接、大带宽的技术保障。

（一）第一阶段

建设井上井下 700 MHz+2.6 GHz 融合组网系统；基于 i5GC 核心网部署 1 套云网融合平台、1 台 SPN、1 台 BBU、3 台 PB、20 套 pRRU 等设备实现中央变电所、井底车场、换装硐室、2 煤南翼辅助运输大巷、20101 首采工作面、地面工业广场办公区及洗煤厂等区域 5G 无线网络覆盖。实现了全矿井 5G VoNR 通信及云网融合，首次构建了基于新型云网架构的矿井“一网管控”，矿山“多元化”云网融合平台拓扑图如图 1 所示。研究出适用大海则井下通信的 5G 700 MHz 频段和 2.6 GHz 融合技术，并成功举办大海则煤矿 5G 700M 融合网络全球发布会，如图 2 所示。

（二）第二阶段

在井下北翼辅运大巷、南翼胶运大巷、井下 20201 工作面等区域建设 5G 基站及传输设备，进行全矿井无死角覆盖。为大海则煤矿开展“5G+”虚拟交互应用、无人驾驶、智能穿戴装备、智能巡检、采煤机、掘进机智能化等应用。在大海则煤矿地面工业广场共规划 2 套 2.6 GHz 宏站和 2 套 700 MHz 宏站，其中 1

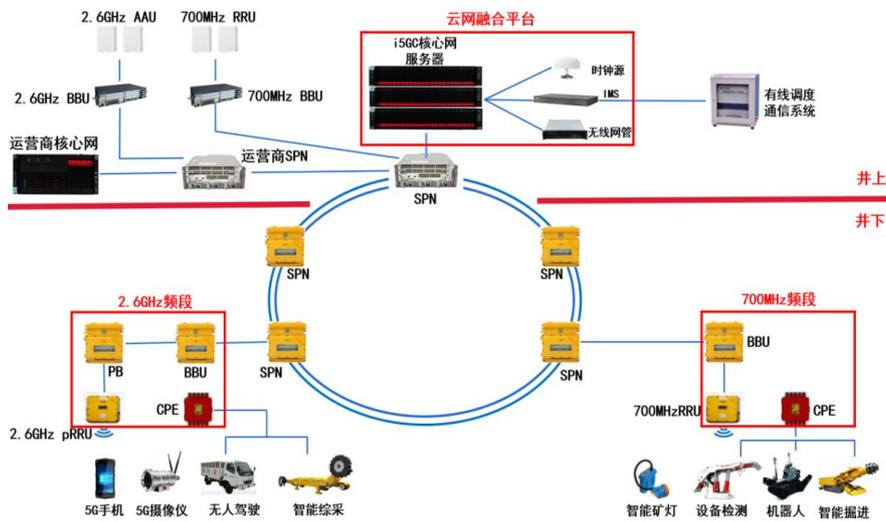


图 1 矿山“多元化”云网融合平台拓扑图



图 2 大海则煤矿 5G 700M 融合网络全球发布会

套 2.6 GHz 宏站和 1 套 700 MHz 宏站位于大海则煤矿厂区,1 套 2.6 GHz 宏站和 1 套 700 MHz 宏站位于大海则煤矿选煤厂,建设完成后可实现大海则煤矿办公区、选煤厂等区域的 5G 覆盖。SPN、BBU 安装在大海则煤矿机房,大海则煤矿厂区 AAU 安装在新建办公楼旁铁塔,选煤厂 AAU 安装在选煤厂内 30 m 单管塔上,通过光纤分别连接到厂区和选煤厂 AAU;700 MHz BBU 安装在大海则煤矿机房,大海则煤矿厂区 700 MHz RRU 安装在办公楼楼顶,选煤厂 700 MHz RRU 与 2.6 GHz AAU 共同安装在选煤厂内 30 m 单管塔上,通过光纤分别连接到厂区和选煤厂 RRU 上。

大海煤矿通过 5G 井下 2.6G+700M 无线网络全覆盖建设,运用 700M 频段高穿透、强绕行的技术特性和 2.6G 频段上行带宽的特点,满足煤矿井下生产高可靠、数据不出园、业务安全隔离、低时延、大带宽等诉求。在智能采煤方面,通过云网融合平台实现人员位置信息、设备位置信息、设备状态信息的实时监测。运用云网融合技术将 5G、WiFi、有线网络等多频、多网进行融合,满足矿区多网段、多协议组网,减少基站和射频等设备的投入,逐步实现少人化、无人化采矿,从整体上降低了生产成本,在矿山领域具备较强的经济效益及实用价值。

二、技术特点及先进性

“基于 5G 在煤矿深部复杂环境下的智慧安全开采研究和应用”项目在大海则煤矿全矿井进行应用。该套 5G 700M+2.6G 频段融合通信系统在使用期间各项

功能运行正常，能够采用 5G（700 MHz+2.6 GHz）多频段创新型融合组网，实现了煤炭行业首次 5G 多频段融合独立专网的组建。全矿井采用 MOCN 技术实现专网+公网无缝衔接，完成了全国首次“一张卡”在两矿区多网段下的 5G VoNR 专网互通，实现了真正的 5G HiFi 级的超清语音通话。同时，大海则煤矿运用云网融合技术，实现了国内煤炭行业首次 5G 独立专网+4G+WiFi+IOT+有线调度多网元融合通信。三个“全国首次”保障了大海则煤矿智能化建设的先进性。

（一）5G VoNR（HIFI 级别超清通话）井下首通

5G 700M+2.6G 专网建立，打通井下第一通 VoNR 电话业务；相比较于之前 4G 的 VOLTE，5G VoNR 采用了 EVS 技术实现了人的听觉范围全带宽的编码，有效提升语音通话的音质到 HiFi 的级别。

（二）MOCN 首次赋能煤矿融合通信

井下首次采用 MOCN 方式(Multi-OperatorCoreNetwork)指一套无线网络可以同时连接到多个核心网节点，实现专网+公网无缝衔接，5G 通话与地面公网对接互通。CN 节点属于不同运行商，共享无线网络资源，允许各个运营核心部署 Iu-Flex，内部的各个 CN 节点形成 CNPool；同一个共享区域中的手机终端将由 RAN 路由到各自签约运营商的 CN。

（三）煤炭行业首次采用 5G 700M 频段

煤炭行业首次采用 5G 700M 频段；覆盖能力强、绕射能力强、传输损耗低，提升井下覆盖范围。采用 FDD 与 TDD 传输融合模式，有效通信距离较传统 5G 单频组网提高了 4~6 倍，有效覆盖范围达到 1600~1800m。解决井下大巷数据业务需求不高且容易造成无线资源浪费的痛点问题，既能满足巷道内数据和通话业务，又能减少部署成本。

三、智能化建设成效

大海则 5G 700M+2.6G 多频段融合组网建设项目，运用 700M 频段低延时、低频、高穿透、强绕行的技术特性，增加南北翼大巷的有效通信距离，运用 2.6G 上行带宽的特点来满足采掘方面的需求，二者结合实现复杂工况环境的低成本 5G 全矿井覆盖。将 5G 2.6GHz 频段结合 700 MHz 频段，井下网络有效覆盖范围

可达 600m；提升绕射和穿透能力，有效解决采掘工作面拐弯、上山/下山环境起伏等死角覆盖问题。与 700M 相比，同等技术条件下其他频段站点数量：2.6 GHz 多约 3 倍、3.5 GHz 多约 3.5 倍、4.9 GHz 多约 12 倍，用 700M 组网的成本会有效降低矿山 5G 组网建设成本 40%。在大海则煤矿运用云网融合技术将 5G 700M&2.6G、WiFi、有线网络等多频、多网进行融合，满足矿区多网段、多协议组网，可减少基站和射频等设备的投入成本。

案例 3 刘庄煤矿感知矿山数据应用

主要完成单位：中煤新集能源股份有限公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

为认真贯彻落实中煤集团煤矿智能化建设工作推进会要求，加快推进煤矿智能化建设工作，中煤新集公司在 2021 年底各矿基本实现各车间在集控中心综合自动化平台上实现远程监视监控的基础上。为充分利用新集公司各矿平台与本地资源数据，现对数据的采集与转换进行统一规划、统一设计、统一存储等，建成中煤新集感知矿山应用。

（二）主要内容

按照煤矿感知数据接入细则（试行）》规范规定的编码规则要求将供电监控数据、主运输监控数据、矿压监控数据、瓦斯抽采与利用数据、粉尘监测数据、火灾预警监测数据、地理信息坐标系、视频监控系统监测数据生成标准文件格式，传到安徽省能源局等单位。具体施工内容如下：

项目主要利用 JDBC 中间件访问关系型数据库的表和视图，每分钟采集安全监控数据、水文地质监控数据、井下作业人员管理数据、地理信息坐标系的数据；利用国际工业标准开放式过程链接 OPC-UA 协议每分钟采集提升监控数据、排水监控数据、通风监控数据、压风监控数据、供电监控数据、主运输监控数据、矿压监控数据、瓦斯抽采与利用数据、粉尘监测数据、火灾预警监测数据；利用流媒体实时流 RTSP 协议转发视频监控系统监测数据。

工业数据采集和上传：与 SCADA 软件配套，满足矿井各子系统的接入需要，支持但不限于西门子、GE、AB 等主流厂家 PLC 的接入，支持 Mosbus-TCP、Modbus-RTU、ODBC 等通讯协议，定制开发数据接口软件。同时新集公司总部服务器之间采用工业自动化标准 OPCUA 协议，依据国家和省部室下发的标准文件，采集各矿重大设备的数据、安全监测数据、人员定位数据并编码。以一定时

间间隔生成 ftp 文件，上传至公司指定的 ftp 服务器中，由省能源局相关部室取走。

传输过程监视：系统实时监控各矿各类 ftp 文件的上传状态。对超时未上传产生报警，通知管理员介入、查找原因，及时恢复数据上传。

二、技术特点及先进性

（一）技术路线图

1.总体架构

本系统采用 BS 架构，Java 语言开发，mysql 数据库。其总体架构如图 1 所示。

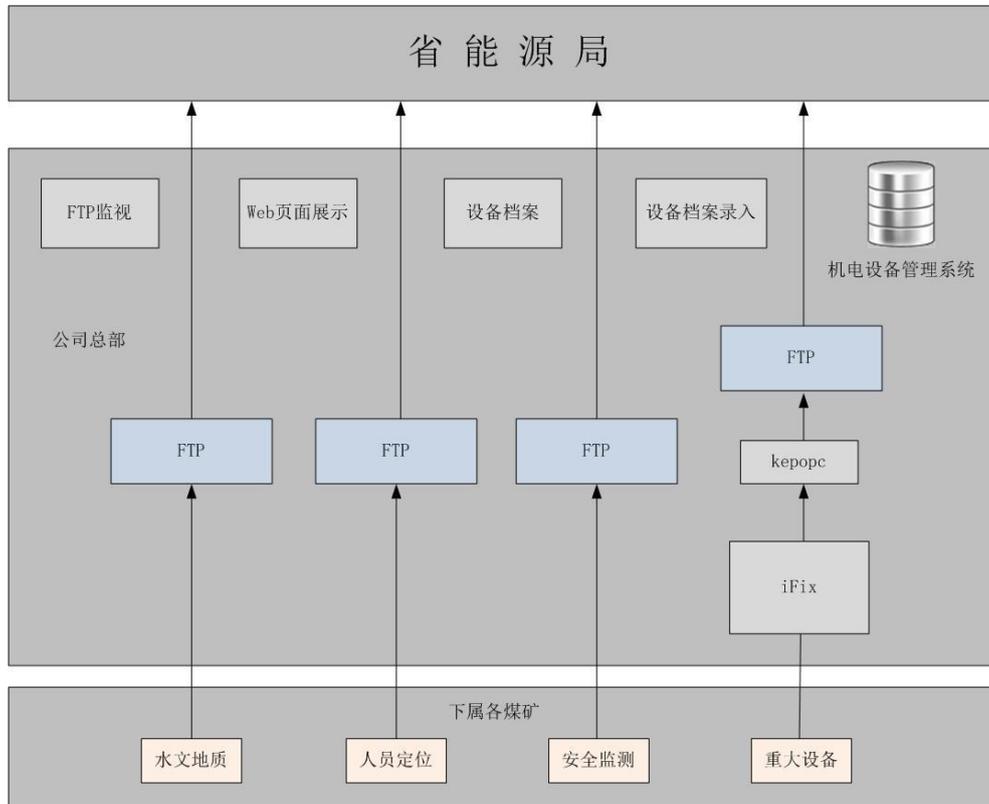


图 1 煤矿感知数据接入系统架构

重大设备：在新集公司总部建设一套 IFIX SCADA 系统，接入各矿重大设备数据至总部。再由 KEPOPC 软件使用 OPCUA 协议，从总部 IFIX 系统实时采集各矿重要设备如通风机、提升机、井下主排水泵、压风机、供电、煤流系统等数据，按国家标准要求编码数据，并生成 FTP 文件，上传至总部 FTP 服务器。

水文地质：利用 ODBC 或 OLEDB 协议实时采集水文地质系统数据，并生成 FTP 文件，上传至总部 FTP 服务器。

设备信息：利用 ODBC 或 OLEDB 协议访问机电设备系统，采集重要设备静态台账和设备安标信息等，生成 FTP 文件，上传至总部 FTP 服务器。

用户输入：支持用户输入设备安标防爆等信息。

矿压系统：按国家标准要求，生成 FTP 文件，上传至总部 FTP 服务器。

人员定位：按国家标准要求，生成 FTP 文件，上传至总部 FTP 服务器。

安全监测：按国家标准要求，生成 FTP 文件，上传至总部 FTP 服务器。

传输监控：开发一套传输监控软件，实时监控各条在册传输路径上的实时传输情况，并以图形形式展示出来。如遇到传输中断情况，短信通知相关人员。

（二）主要经验和技术创新点

协议转换网关：开发了一套协议转换网关软件，该网关对下使用建设煤矿智慧矿山过程中采用的 OPC UA、OPC DA 和 ODBC、OLEDB、FTP、MSMQ 等协议采集数据。经过数据整理、编码后，对上输出为有关部门对煤矿感知数据标准统一规范的数据上传格式文件，且具备以下优点：

1.集中化程度高，数据采集、转换、上传一体化。

2.传输监控可视化，系统拟对 ftp 文件传输情况实时监控，传输情况在 WEB 页面上实时动态展现。

3.自动化采集能力强，管理员仅仅通过配置即可完成数据采集，无代码开发。

4.国家标准编码数据全，系统采集上传功能针对国家标准做到全覆盖。

三、智能化建设成效

感知矿山通过全面感知，可对刘庄煤矿矿区的人（人员定位、无线通信）、设备（综合自动化）、环境（安全监控、矿压监控等）进行全面感知。并通过高速网络、全面覆盖矿区地面井下，实现感知矿山数据全面共享；同时还具有直观形象的应用。

感知矿山实施的难点是如何将所有与矿区安全、生产相关的感知层不同系统接入统一的网络平台,实现数据共享及应用平台集中展示;感知矿山技术的价值是发挥其智能化实际应用。

感知矿山不仅可提高矿山的安全管理水平，更多的是涉及到生产，如利用信

息技术、网络技术以及传感网络对矿区各个生产相关设备系统的感知和控制，可很大程度提升矿区的自动化生产能力。为加快推进“互联网+监管”应用工作，实现新集公司对各矿数据的实时监视。

案例 4 庞庞塔煤矿 5G+工业互联网应用

主要完成单位：霍州煤电集团有限责任公司

一、主要建设内容

（一）5G+工业互联网

2020 年 4 月，庞庞塔煤矿与联通（山西）产业互联网公司合作，建成了一张高质量的 5G+工业互联网。矿井真正形成了“万兆光纤环网+5G 无线宽带专网+窄带物联网”的一体化传输网络，工业互联网带宽整体承载能力达 40 万兆规模。5G+工业互联网主要包含 4G/5G 无线通信系统（接入层网络）及 IPRAN 环网（主干网络）两大部分。井下布置 8 台 IPRAN 环网交换机、8 台 BBU、24 台 RHUB、138 台 4G/5G 多模基站（基站同步开通 NB-IoT），光缆共铺设 100km，覆盖井下所有进风系统大巷及采掘工作面，实现了井下无线及有线的一体化传输，井下 4G/5G 系统结构如图 1 所示。

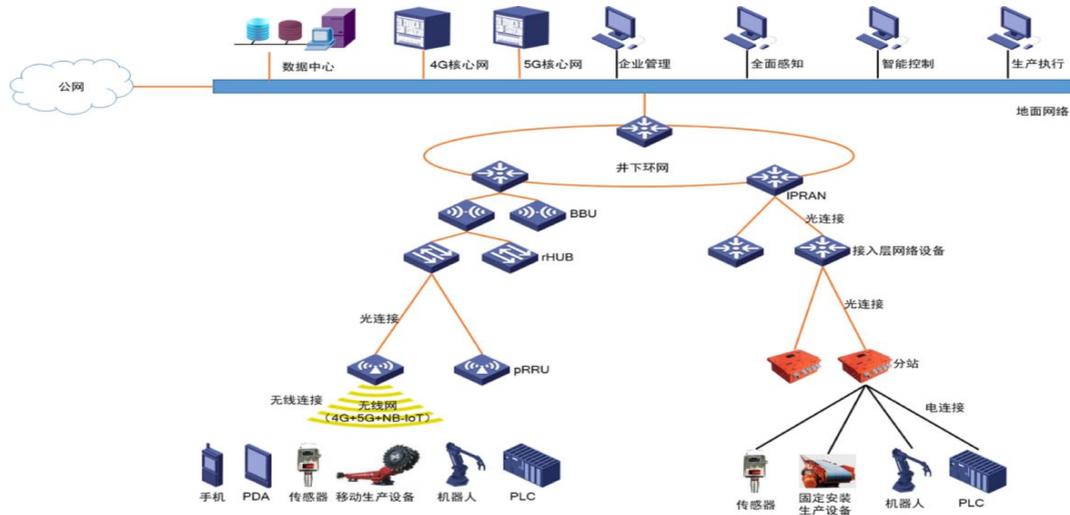


图 1 井下 4G/5G 系统结构

地面机房布置 2 台 NE8000 环网核心交换机，井下 8 个节点交换机采用并联组网方式与地面核心设备分别独立组环，最终通过地面的核心环网设备上联到公网的传输设备（地面部署 6 个 5G 公网宏站），实现与公网的互联互通。井下单个节点交换机带宽能力为 50G，整体带宽能力为 400G。

（二）云计算中心

矿井云计算中心占地 150m²，共布置两列共 28 台标准机柜，2 台强电列头柜，2 台弱电列头柜，4 台空调机柜，安全防护等级达三级。模块化机房部署计算区、核心交换区、网络边界区、控制网区、应用服务区等；网络边界采用网络等级保护三级标准进行建设，确保了矿区网络的安全性。

在云服务中搭载了华为 ROMA 平台，大数据平台、数据库平台等，为矿井数据采集、处理、分析提供了高效的环境；同时在云服务中建设了矿井的智能综合管控平台，矿井所有监测、监控系统数据全部接入，实现了监测监控系统、应急广播系统、人员定位系统、水文监测系统等多系统与智能化控制系统的联动。同时，结合 GIS 一张图，完成了水害、火灾等灾害仿真系统，能根据异常报警参数智能分析灾害影响范围，自动规划避灾路线，结合矿井应急预案，联动控制应急广播设备与单兵装备，实现灾害事故的快速响应、智能决策，提高了应急处置能力，综合管控平台如图 2 所示。

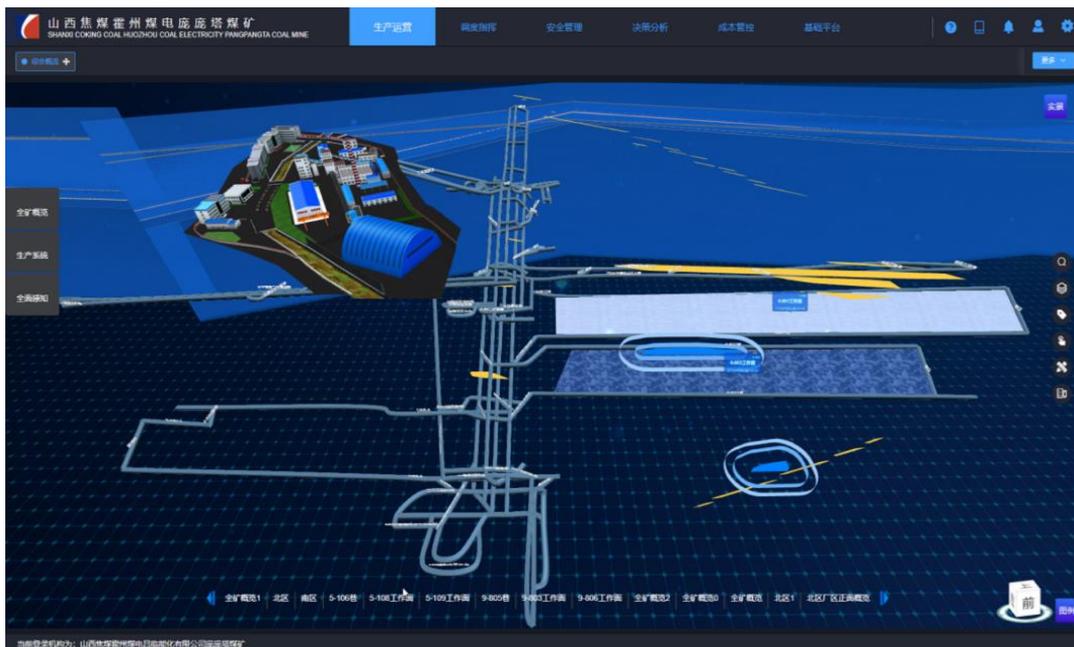


图 2 庞庞塔煤矿智能化综合管控平台

（三）5G+智能应用

矿井基于 5G+工业互联网，开展了一系列智能化应用与实践，主要包括 5G+全面感知、5G+高效指挥、5G+安全管控及 5G+智能控制等方面，实现了减人提效，提高了矿井的整体安全生产管理水平。

1.在井下主要硐室和设备作业点安装 5G 高清摄像头 200 余个、NB 无线传

感器 270 余组,对井下瓦斯、顶板、水文等监测监控系统进行实时数据统一采集、存储、分析、展现及预警报警。

2.投用 500 部 4G/5G 手机、无线和有线实现融合通信,投用 70 套单兵装备(智慧矿灯),内置 5G 模组,具备瓦斯监测、调度台面对面通讯等功能,实现了智能语音调度和视频调度。

3.建成了全国首个大倾角厚煤层远距离智能化综放工作面,井下 20 个主要硐室、运输系统实现无人值守、远程集控,减员 102 人。

4.开发了双预控系统 APP,利用 5G 防爆手机,实现了智能安全管控。

二、技术特点及先进性

1.矿井建成了一张安全、高效、快速的高质量工业互联网,具备大带宽(整体承载能力达到 40 万兆)、低时延(小于 1ms)、广连接(可接入 50000+传感器、1000+视频、1000+终端)、高可靠性(99.999%)的优势。

2.通过信息化基础设施建设,打破了之前“烟囱式”系统布置的业务壁垒,通过云计算中心统一发放的虚拟机及云存储,实现了数据的统一传输、统一分析,统一呈现;同时,数据保存在本地,为后续智能化管控平台多系统联动、实现数字化矿井提供了坚实的基础。

3.建立了井下 5G 网络切片模型,遵从网络切片逻辑完整、相互隔离以及可定制化的原则,设计面向井下视频监控、可视化操控等 eMBB 场景和智能化工作面等 uRLLC 场景的网络切片方案。通过为井下视频监控、可视化操控等应用切片分配较多的无线、计算和存储资源满足用户高速率的业务需求,通过将 uRLLC 切片核心网用户面部署到 BBU 侧减少了用户端到端传输时延;两种切片通过共享核心网控制面实现核心网切片的集中式管控。

4.5G 及云计算中心采用租赁服务的模式建设,分别由联通(山西)产互公司及华为公司进行后台运维,在降低建设成本的同时,又弥补了矿井因信息化及智能化人才短缺造成运维困难的不足。

三、智能化建设成效

(一) 5G+全面感知

基于矿井 5G+工业互联网，利用有线、无线、NB 等多种传输方式实现了各种监测监控数据的统一采集、存储、分析、展现及预警报警，解决了传统监测监控系统独立建设、专网专用、信息孤岛、建设成本高、周期长的问题，既提高了各监测系统的可靠性，又降低了建设成本及维护工作量。实现了矿井的全面感知、精准预测预报。全面感知系统架构及井下信息化系统联合布置如图 3 所示。



图 3 全面感知系统架构及信息化系统联合布置

（二）5G+高效指挥

无线和有线实现融合通信，实现了智能语音调度和视频调度，提高了调度指挥的协同性、高效性。

（三）5G+智能控制

1.井下固定场所及设备作业点利用工业互联网有线传输方式进行远程集中控制。目前，已建成全国首个大倾角厚煤层远距离智能化综放工作面，井下 20 个主要硐室、运输系统实现无人值守、远程集控，减员 102 人；

2.采用 5G 无线网络，实现了井下系统大巷的卡轨齿轨车远程控制和无人驾驶。

（四）5G+安全管控

利用 5G 防爆智能手机安装新开发的双预控系统 APP,一是实现了井下现场隐患录入、整改拍照、取证上传、视频语音互通互联功能；二是系统具备信息推送功能，通过建立规则匹配，管理人员能够及时收到与本人相关的信息；三是融

合人员精确定位系统，对检查人员准确定位，通过手机终端实现风险、隐患、三违信息、重点人员预警信息等的精准定位推送。双防系统 APP 如图 4 所示。

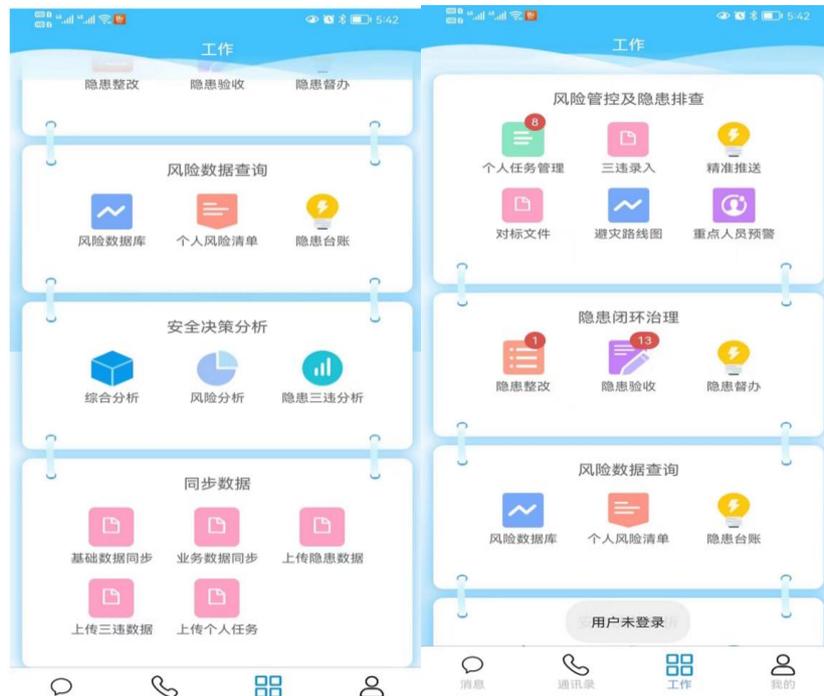


图 4 双防系统 APP

案例 5 王坡煤矿生产调度一体化管控系统

主要完成单位：山西天地王坡煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

天地王坡智能一体化管控平台自 2021 年 4 月开始建设，同年 12 月底建设完成，整合了生产控制类、安全监测类 17 个应用系统，为解决企业数字化转型过程中面临的“信息孤岛”，管理模式落后，设备通信接口不统一，数据协议标准不一致等问题着力打造的生产调度“智慧大脑”。

（二）主要内容

天地王坡智能一体化管控平台基于先进的工业互联网架构，将物联网、大数据、人工智能、三维虚拟仿真等技术与煤矿生产技术充分融合，遵循统一数据、统一模型、统一平台、统一架构的原则，PaaS 平台、大数据平台、云组态工具等核心组件拥有自主知识产权，打造科工集团自主产品，掌握煤炭核心软件主导权，解决煤矿“卡脖子”技术问题，实现矿井各业务系统的设备标准接入、数据融合共享、智能协同管控。

智能一体化管控平台总体架构如图 1 所示，设备层支持接入煤矿各种智能设备、传感器、SCADA 系统等多源异构数据；管控平台具备通用 PaaS 能力和煤炭行业 PaaS 能力，提供各类数据库、消息中间件、缓存等基础组件，具备已有应用的上云和新应用的云原生开发能力，通过煤炭工业知识的软件化封装，构建煤炭行业算法模型库和行业知识库，提供三维 GIS 开发平台、组态工具和可视化工具等行业开发组件，实现煤炭工业技术的共享和复用，形成中国煤炭科工集团研发一体化模式；应用层集成了“采、掘、机、运、通”等煤矿专项子系统和生产类、安全类、综合管理类煤矿智能化综合应用，打造矿井级工业互联网 APP 生态。

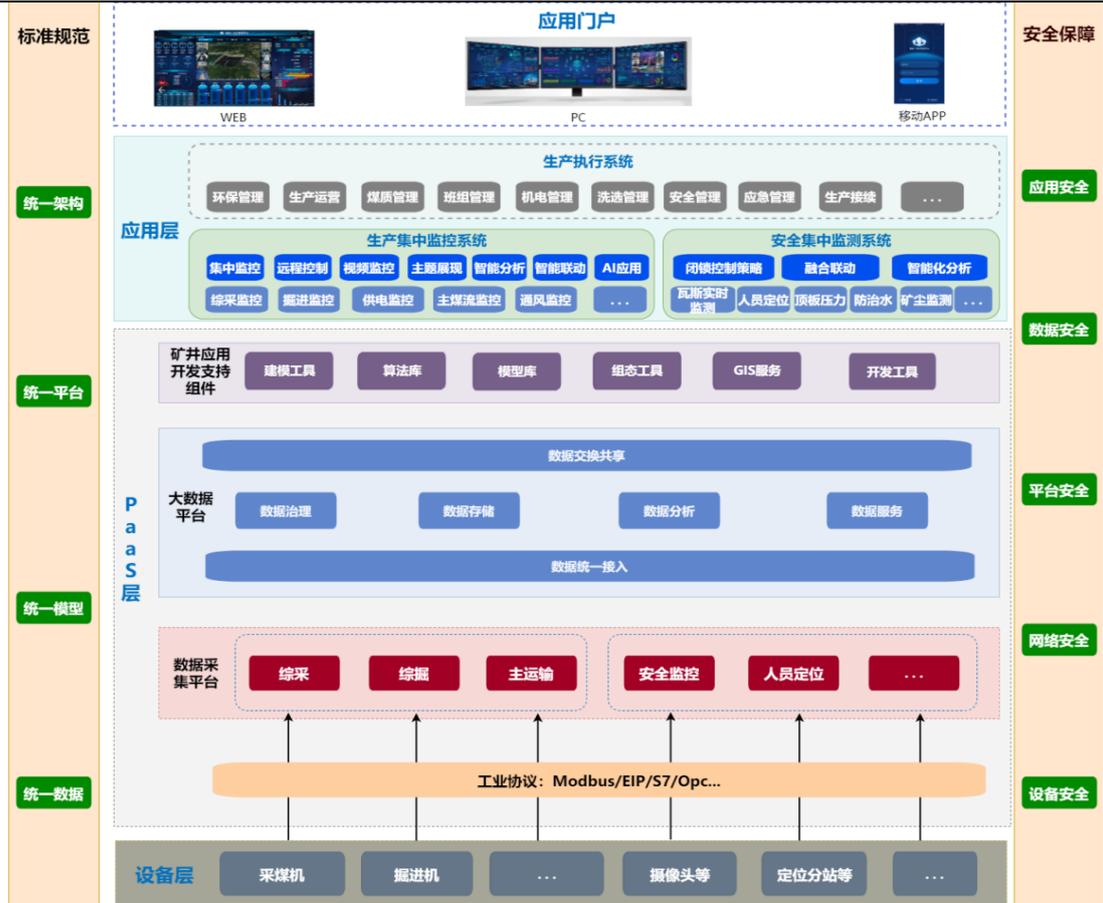


图 1 天地王坡智能一体化管控平台总体架构

智能一体化管控平台部署架构如图 2 所示，主要包括大数据服务集群、PaaS 服务集群、采集节点、监控工作站等基础设施。

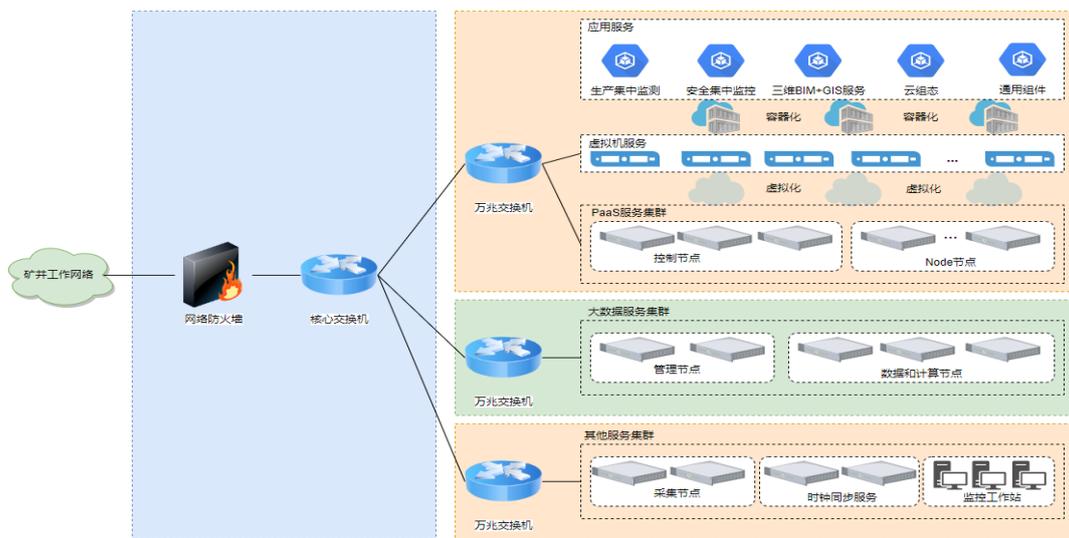


图 2 天地王坡智能一体化管控平台部署架构

二、技术特点及先进性

智能一体化管控平台支持在集团、二级公司和煤矿端多级灵活部署，打破下

属公司数据不透明的屏障，并且支持远程交付和部署，简化运维。智能一体化管控平台云边协同、多级部署和平台主界面，如图 3、图 4 所示。

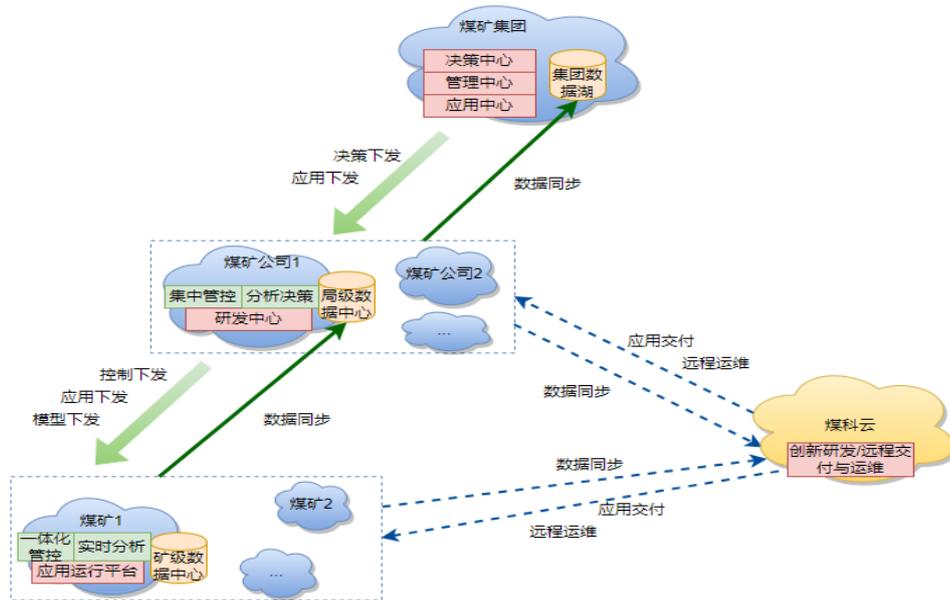


图 3 天地王坡智能一体化管控平台云边协同、多级部署示意



图 4 天地王坡智能一体化管控平台主界面

智能一体化管控平台的核心技术如下：

1.多源异构数据的集成和煤矿全域子系统的数据接入。数据采集服务支持 Modbus、OPCUA、EtherNet/IP、S7、IEC101、IEC104、DL645 等煤炭行业主流工控协议，并支持集成其他工业私有专用数据协议，支持主流框架(X86、ARM)，支持国产操作系统（SylxOS、中兴、中标麒麟、欧拉、深度等）。

2.统一的煤炭行业数据结构模型体系。即 EIP 对象模型，按照设备孪生方法

对全矿井设备进行抽象建模并支持动态扩展，实现矿用装备层的数据标准化。

3.覆盖井上井下作业过程的数据主题和专题库。如综采主题、综掘主题、矿井设备主题、能效分析专题等，形成煤矿行业的数据治理标准。

4.涵盖生产过程监测、生产管理、设备管理、能耗管理、安全管理等关键主题的煤炭行业专用算法模型库，支持一站式算法模型定制服务。

5.统一的数据共享标准，保障数据的安全，实现数据资产的统一管理和共享。

6.桌面组态和云组态工具开发一体化。云组态解决监控系统上云的难题，桌面组态保留控制的可靠性、实时性和稳定性。桌面组态支持主流框架(X86、ARM)，支持国产操作系统（SylixOS、中兴、中标麒麟、欧拉、深度等）。

7.三维 BIM+GIS 服务。采用标准化数据处理及转换流程，可快速便捷地转换矿山基础信息数据，实现对煤矿井上、井下静态模型进行动态仿真，对煤矿各系统的实时监测数据进行动态展示，并支持矿井灾害应急救援指挥和多系统的融合联动。

8.系统管理。实现集中运维式的管理，针对矿井组织架构，人员信息，生产情况主数据进行统一管理、支持统一认证和权限管理。

9.管理驾驶舱面向矿领导、生产、机电、调度中心、安监、通风、信息中心七个部门和角色需要，动态展示生产、经营、安全类综合性指标，服务于领导决策。

10.智能化综合应用系统“主煤流协同经济运行”，打通底层数据，从工作面到主运输到煤仓实现一键启停，实现多系统间的互通联动。

三、智能化建设成效

目前，天地王坡平台智能一体化管控平台实现了“采、掘、机、运、通”等主要生产环节、井下环境安全、经营管理、分析决策等实时信息综合集成与可视化展示，实现了子系统的预警报警、指挥调度与协同控制，矿井综合管理效率提升了 40%。

在智能一体化管控平台“智慧大脑”一个标准的前提下，构建以“一朵云、一张网、一张图、一个标准、一个平台、加一系列智能化子系统”为主要内容的

智能化体系，重构部门管理职能，实现天地王坡采掘自动化、平台智能化、运营信息化，将天地王坡打造成一个能用、实用、管用的国家智能化示范矿井，形成统一的信息化建设标准与规范，在中国煤科内部全面推广和应用，最终实现“管、控、营”一体化、安全可靠化、管理高效化、效益最大化的目标。

案例 6 伊犁一矿智慧矿山指挥中心建设

主要完成单位：山东能源兖矿新疆能化有限公司

一、矿井建设基本情况

伊犁一矿位于美丽的“塞外江南”新疆伊犁哈萨克自治州察布查尔锡伯自治县琼博拉镇，距离哈萨克斯坦 50km。矿区北距县城 34km，距离全国最大的国际陆路口岸—霍尔果斯口岸 150km，交通便利，位置优越，是国家发改委核准的新疆第一座千万吨特大型现代化井工矿井，设计生产能力为 1000 万 t/a，服务年限为 142a，概算总投资 51 亿元。矿井分南、北两个工业场地，采用斜立混合开拓方式，分别如图 1 和图 2 所示。投产时，共布置 5 条井筒，分别为北工业广场的进风立井，南工业广场的材料斜井、回风立井、主斜井和缓坡副斜井。



图 1 北工业广场鸟瞰图



图 2 南工业广场鸟瞰图

矿井为 I 类易自燃煤层，自然发火期为 32 天，属低瓦斯矿井，水文地质类型为中等，非冲击地压矿井。回采工作面采用走向长壁综合机械化放顶煤工艺，全部垮落法管理顶板；掘进工作面采用综合机械化掘进工艺。目前共有 1 个采煤工作面、2 个掘进工作面，分别为 1503E 综放工作面，1504E 上顺槽、1507W 下顺槽综掘工作面。

二、案例介绍

伊犁一矿作为山东能源在新疆地区的唯一的智能化引领型示范矿井，按照“高起点、高装备、高智能、高效率、高收益”的建矿要求，坚持走矿井“重装大型、智能高端”的云之路，秉承集聚高端装备、集成先进技术、集汇颠覆创新、集结前沿管理的理念，紧紧围绕“安全高效绿色少人智能”的建设思想，弘扬“建百人工程、创百年矿井”的“双百工程”奋斗目标，努力打造煤炭行业“安全开采、高产高效、绿色和谐、智能管理”的无人化生产新模式，探索出一条以大数据中心为基础，智能化工作面为特色，智慧机电运输系统为支撑的“极简矿井”发展之路。全力打造出了彰显伊犁一矿 IMCC（Intelligent Mine Command Center）特色的智慧矿山指挥中心。

（一）搭建模块化数据中心，实现云端化运行转变

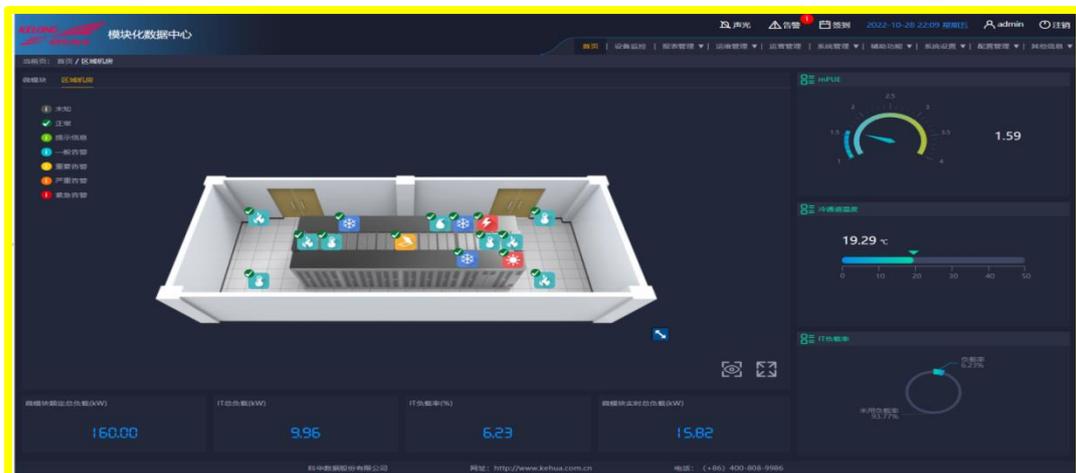
搭建新疆煤炭行业第一座现代化微模块数据机房，建设了华为超融合云平台，利用虚拟主机，实现各自动化子系统在云服务器中运行，解决了传统数据机房多

服务器罗列的空间浪费问题。通过构建数据产业结构、建立标准体系、打通信息交互链条，实现由传统的“人力密集型、重复操作型、海量数据型”生产场景向云用户感知、运营态势一点可视的转变。运行中的微模块数据中心如图 3 所示。



图 3 运行中的微模块数据中心

新建成的机房将全矿办公网络核心、万兆工业环网核心、调度交换核心、大数据超融合核心集成到一体化机房进行统一管理，配置独立环境监测、配电、制冷、新风、照明、安防、消防等系统，通过 10 寸触摸屏+后台 web 界面，实现各系统数据实时监控、快速故障定位和问题处理，缩短管理需求响应时间，提升数据中心的防护能力，保障安全运行。数据机房按照国标规范进行综合布线，提高数据中心的整体运营效率，实现网络、信息核心设备快速部署、弹性扩展和绿色节能功能，为智慧矿山建设提供了可靠的硬件和链路基础。微模块数据中心监控系统如图 4 所示。



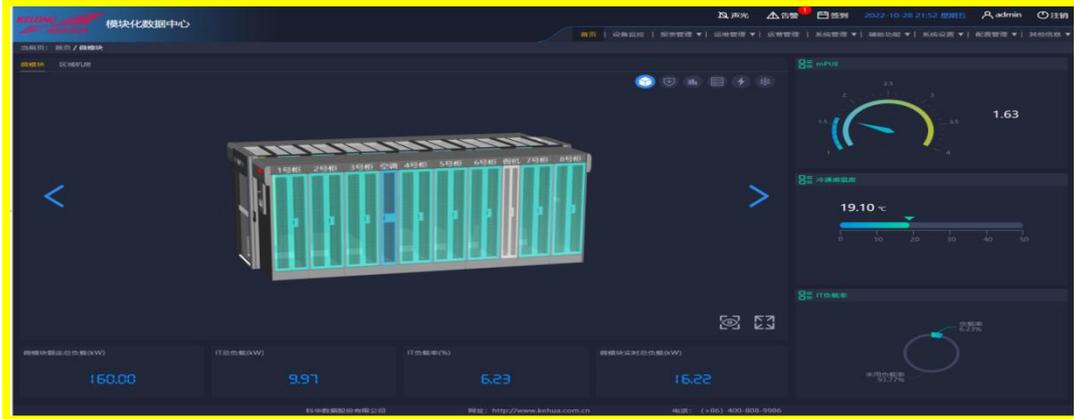


图 4 微模块数据中心监控系统

（二）架构安全生产综合管控平台，为矿井生产保驾护航

运用3D虚拟仿真和物联网技术，架构安全生产综合管控平台，实现对矿区、建筑和各种设备的三维模型展示和远程监视。基于数字孪生技术实现了矿井主要生产环节如主煤流、通风、排水、压风等系统的集中控制，保证全矿井主要生产系统的数据采集及统一展示，达到无人值守、少人巡检的目的，有效提高了矿井生产效率，主通风机房三维自动化控制系统如图 5 所示。

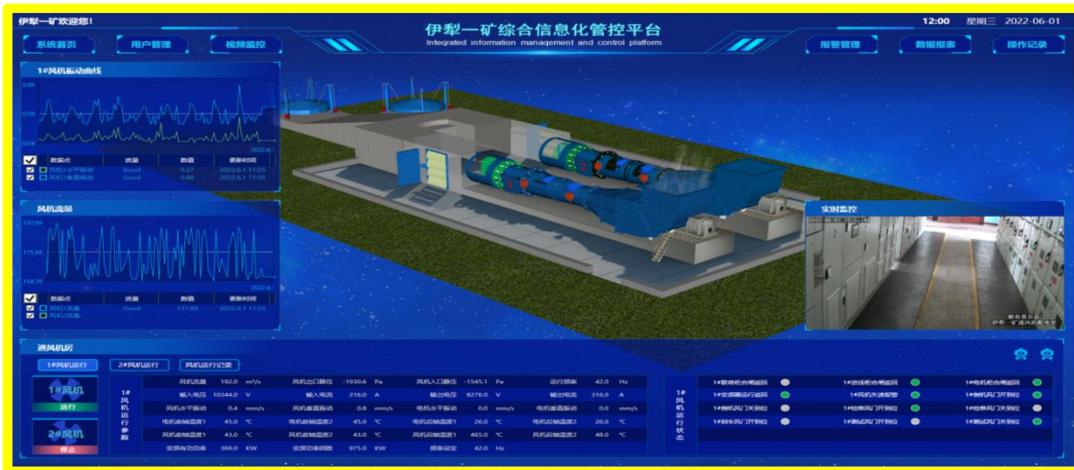


图 5 主通风机房三维自动化控制系统

矿井各自动化系统在异构条件下达到信息联通、共享和联动的目的，保证了生产调度、决策指挥的网络化、信息化、科学化，为矿井安全生产、有效预防和及时处理各种突发事故和自然灾害，提供有效手段，为矿井信息化的应用和发展奠定基础，安全生产综合管控平台如图 6 所示。



图 6 安全生产综合管控平台

（三）建成“智慧管控+数据共享”型智慧矿山指挥中心

在“一调度+两中心”高度集控生产新模式的基础上，全力打造了“伊犁一矿智慧矿山指挥中心（IMCC）”，装备“智慧指挥官”操控系统及全光纤架构的可视化坐席协作管理平台，服务器与交换机均布置在数据中心，实现了人机分离，既节约了工作区空间，降低环境热量，又提高了服务器数据的安全级别。该系统以光纤 KVM 技术为核心，借助一组键盘、鼠标和显示器完成多台服务器之间的切换，鼠标滑屏操作零延时、超流畅，简化桌面环境，改变了传统的一对一的控制方式，坐席人员操作本地显示屏数据的同时，其数据也可以在大屏或其他坐席显示终端互动显示，使得管理更为简易方便，铁力山“智慧指挥官”MT-1-C1 操作台如图 7 所示。



图 7 铁力山“智慧指挥官” MT-1-C1 操作台

智慧矿山指挥中心集“智能显示+智慧互动+可视化显控+分布式控制”于一

体，通过智慧硬件与坐席系统的深度融合，全面整合、管理集控中心各子系统，实现了超高清画面传输、超低传输延时及无损压缩的功能，有效解决了人机一体化交互困难、多系统互动操作复杂的难题，铁力山云桌面操作系统如图 8 所示。

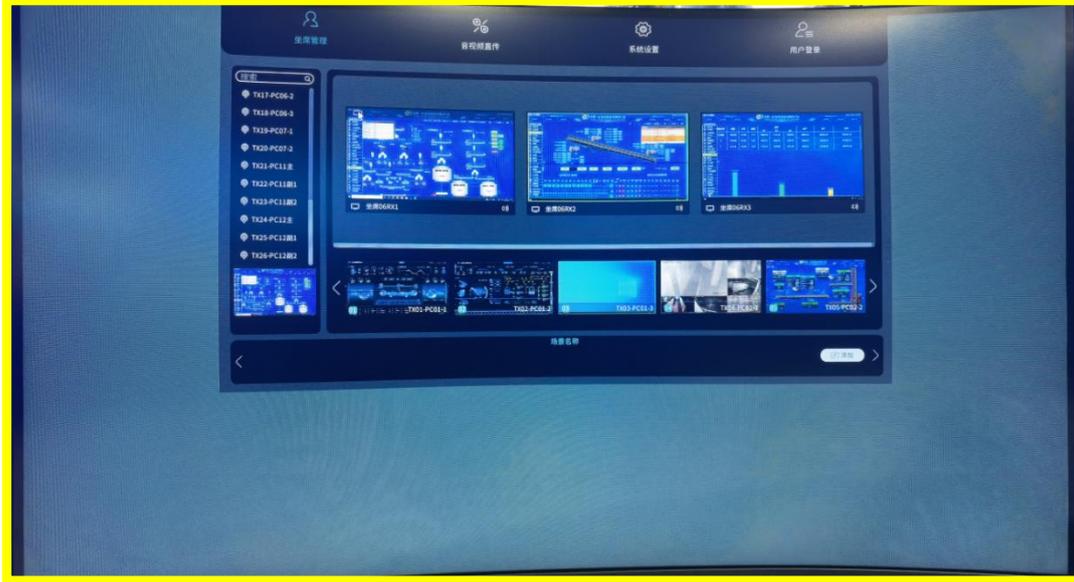


图 8 铁力山云桌面操作系统

操作人员坐在独立的操作台就可以完成矿井采、掘、机、运、通、煤销、发运、安全监测等调度指挥工作。该模式作为智慧矿山的大脑中枢，摒弃了原有煤矿管理经验的束缚，摆脱传统意义上的运行方式，将管理重心由劳动密集型向技术密集型转变。集“声、光、电、感、控”为一体的五维空间，实现数据采集、生产调度、决策指挥的信息化和科学化，完成所有信息的实时自动化采集、高速网络化传输、规范化集成、三维可视化仿真、自动化运行和智能化决策，使整个矿山具有自我分析和判断能力，“人、机、物、环、管”处在高度协调的统一体中运行，实现矿井生产管理过程的可视化、自动化、智能化直至少人化。在“人机一体、高度集成、全面智能、立体控制”的云端体验中轻轻松松完成体面生产工作，运行中的智慧矿山指挥中心如图 9 所示。



图9 运行中的智慧矿山指挥中心

三、智能化建设成效

伊犁一矿智慧矿山指挥中心通过高度集成的安全生产综合管控平台进行数据采集，利用模块化数据机房归纳分析，借助高规格的集控中心下发决策指令，形成了一套规范性、借鉴性较强的智慧化矿井信息基础设施系统，实现了安全高效、减人提效、降低劳动强度、改善劳动环境的目标，让职工“体面劳动、尊严生活”，为相似矿井智慧化建设提供了借鉴。

作为新疆地区首座千万吨井工矿井，伊犁一矿的智慧矿山建设在煤炭行业中的创新发展与实践，必将成为煤矿开采史上的一个划时代的里程碑，让广大干部职工享受智慧化带来的福利，颠覆行业、翻新历史，造福煤矿，惠及边疆。

案例 7 小纪汗煤矿一张图数字化管理平台

主要完成单位：陕西华电榆横煤电有限责任公司

一、主要建设内容

小纪汗煤矿数字煤矿一张图管理平台是将数字化、网络化、智能化能力深度融合，将人工智能 AI 技术、大数据云计算能力与专业领域应用相结合的矿山信息化综合管理平台。平台基于开放式的耦合服务模式，有效整合煤矿采、掘、机、运、通等专业系统，构建实时、透明的智能生产、安全保障、经营管理多业务功能平台。平台支持分区域、分个体、分场景化多种服务模式，采用可视化的标准、流程、字典、权限、场景等期初元素配置功能，可随时通过零代码、解耦式功能配置适配多种业务需要。

（一）“一张图” GIS 平台建设

“一张图”通过矿井基础 CAD 图纸文件深度解析构建统一的 GIS 底图平台，实现信息图层化管理，包括：采掘一张图、人员安全一张图、机电运输一张图、通风系统一张图、防治水专业一张图、调度专业一张图等专题图，可将矿井生产相关的人员、环境、设备等生产运行信息在“一张图”上进行综合展示和应用，平台能够实现跨系统的报警联动、数据调用、根据人员所在位置与预设的避灾路线进行空间分析，动态计算自动生成最佳避灾路线、辅助应急指挥等功能，见图 1。

（二）数据中台建设

以工业智脑为核心，集合智能输入、策略模型、运营模型、数据投影、感知体系、事务中心六大功能，与 AI 技术、云计算大数据能力和垂直领域行业知识相结合，基于类脑神经网络物理架构及模糊认知反演理论，实现从单点智能到多体智能的技术跨越，打造出具备多维感知、全局洞察、实时决策、持续进化的信息化平台系统，见图 2。

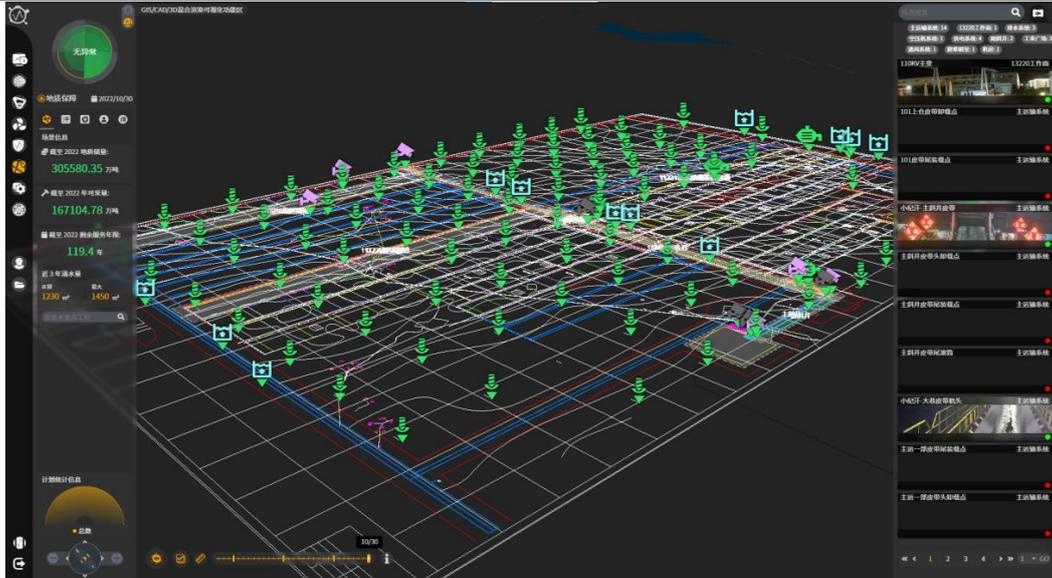


图1 一张图 GIS 平台

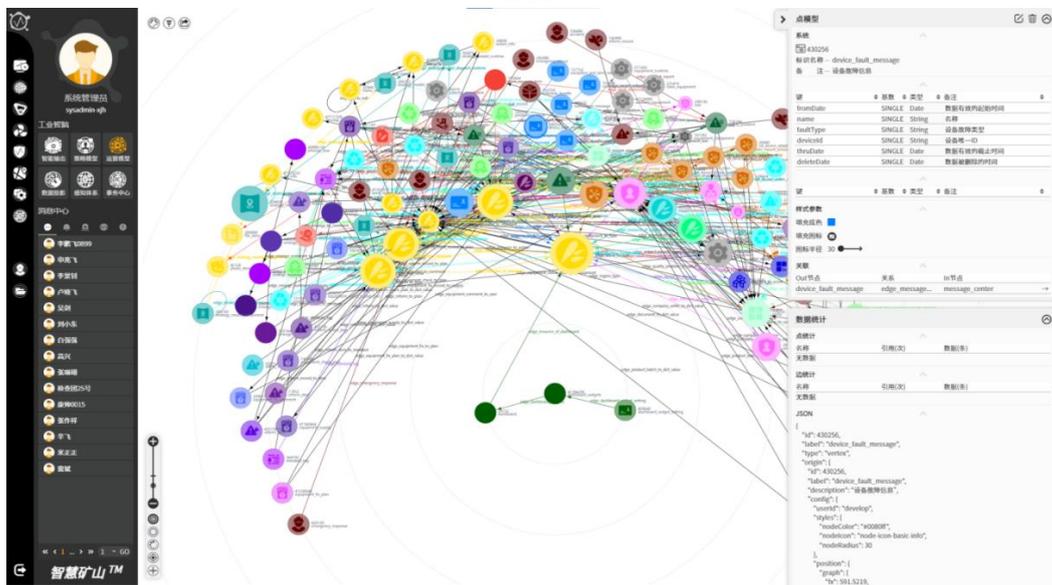


图2 数据中台系统

（三）场景化专业系统建设

平台建设整合接入矿井现有所有自动化类、监测监控类、通信广播类及信息管理类子系统，完成了小纪汗煤矿现有主要系统数据集成，包括安全监测、人员定位、通风系统、主煤流运输系统、工业视频、矿压监测、束管监测、智能化综采掘进工作面设备等。平台基于各专业场景系统归属的信息数据进行源头聚合、耦合、分析，构建多形式展现、综合预报警的信息化应用，完成了采掘专业“一张图”、机电运输专业“一张图”、通风专业“一张图”、防治水专业“一张图”、调度专业“一张图”、安全专业“一张图”等场景化专业应用系统建设。

平台建立了基于自定义表单的数据填报功能，开发业务导向的人为数据填报

入口，完善平台数据采集能力。同时实现小纪汗煤矿通风、地测防治水、调度、采掘、机电运输、安全管理、培训、洗选的专业档案信息化，建立并规范了技术档案管理体系，形成资料文档的全生命周期管理，见图 3。

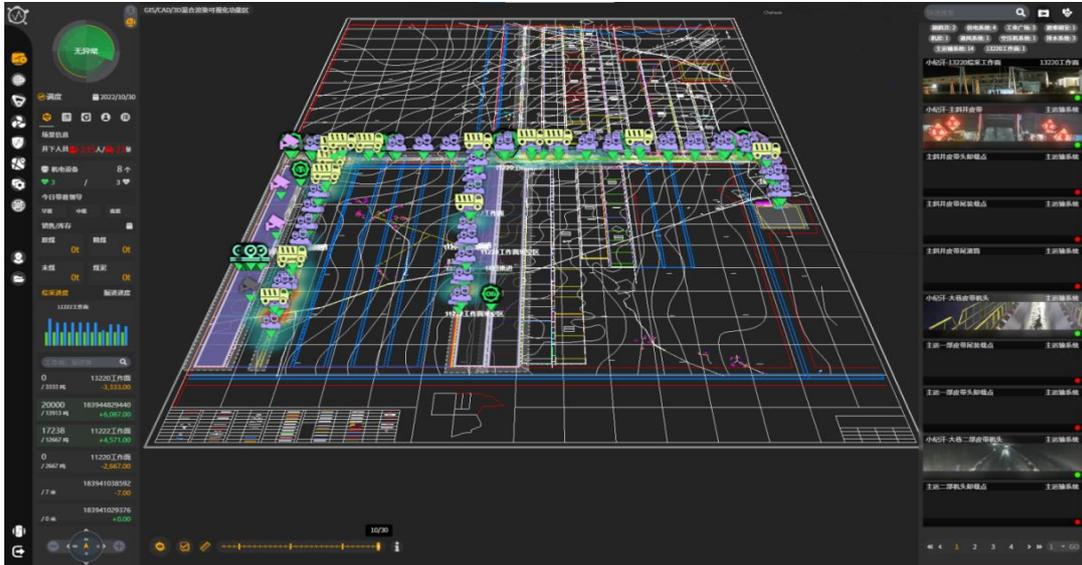


图 3 场景化专业系统

二、技术特点及先进性

（一）融合实现主营业务系统一体

通过数据中台万物互联能力以及策略定制与调度能力，获取矿井现有监测监控、自动化、MIS、决策系统间数据，提供更直观的场景化应用，提供原生完整、流程化、闭环的管理系统，提供轻量级表单定制化工具，增强业务管理信息化应用能力。业务系统涵盖生产调度、安全、机电运输、防治水、通风、采掘六大场景决策“一张图”。数据对接矿井现有系统，提供基于数据属性的快速定制场景、角色、表现形式的工具，快速构建场景化智能应用“一张图”、仪表盘。

（二）融合实现云雾智能一体

基于有向无环图（DAG）方式构建智能策略，可实现不同开发语言、架构建立的 AI 算法进行组合及复用，配置基于时间或周期性、条件性、常驻性的调度执行。边缘策略建模后分发到指定设备执行。无论边缘端、云端，实现统一建模、调度、分发、监视。

（三）融合实现万物互联一体

建设涵盖窄带通信、流媒体、工业协议等范畴的支持场景化定制开发的万物

互联互通平台，实现全在线终端配置、数据协同。跨越不同网络形式、通讯协议、报文格式、终端类型、数据量级差异，除原生支持的各项适配器，可通过策略扩展任意数据适配，实现融合通信。

（四）融合实现大数据同源同构

基于图式数据库作为主业务、分析应用数据库，融合实现非结构、关系型、空间、列式等类型数据库数据采集至图数据库，实现数据建模、采集、序列化、转换、计数据建模、采集、序列化、转换、计算能力一体化，实现业务、分析、过程数据同源同构。

（五）融合实现多感官体验一体

基于纯 WEB 无插件化的 MVVM 实现单页面应用，实现 CAD 矿图、GIS、3D、流媒体、上位组态融合一体，多级调优，性能卓越。基于标准的 CAD 矿图图元矢量化分解转换至空间数据库，进而坐标转换脚本化协同，重绘渲染。流媒体实现 AI 算法融合拼接，组态进一步感官化、逻辑化，构建平台统一 UI 界面，将多专业数据信息融合至单页面应用，实现多维度信息增强展现、预警预报，见图 4。

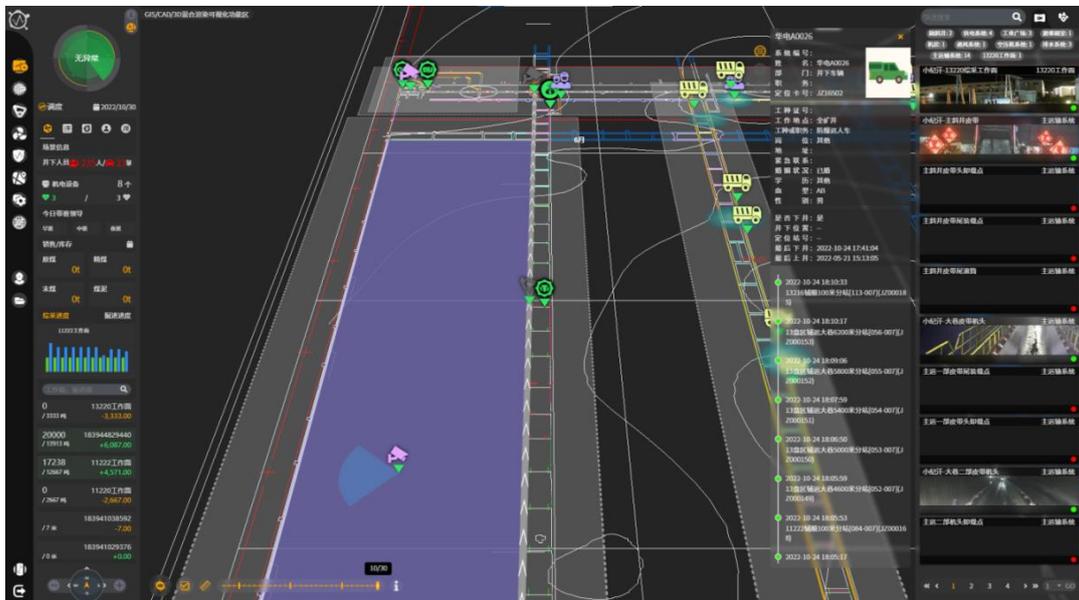


图 4 多维信息展现

三、智能化建设成效

小纪汗煤矿数字煤矿一张图管理平台深度贴合煤矿日常生产业务，辅助完成

了生产说明书编制、生产预测预报、技术档案管理等日常技术工作，减少了工程技术人员的工作量，提高了工作效率，规范了业务及数据处理流程，避免了人工主观性技术差错。一张图管理平台深度整合了矿井现有各生产子系统和业务管理系统，实现了矿井智能化数据基于统一数据中台的融合分析和综合利用，为矿井日常生产管理带来诸多便利，明显提高矿井生产指挥效率，也有利于矿井逐步积累数据资产，优化生产组织，统筹资源配置等。

案例 8 高河煤矿生产经营一体化智能管控平台

主要完成单位：山西高河能源有限公司

一、主要建设内容

山西高河能源有限公司作为国家首批智能化示范煤矿之一，同时也是山西省 10 座国家智能化示范矿井之一。积极贯彻落实国家八部委联合印发的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，以潞安化工集团“1+3+N”智能煤矿建设理念为指引，按照“以机械化为基础、自动化为主导、信息化为支撑、智能化常态应用为方向”思路，推行“机管代人管、自动代主动、智慧代智能”革命，系统推进矿山智能化建设落地。

（一）建设情况

高河能源一体化智能管控是以智慧矿山工业物联网操作系统（RED-MOS®）为基础，以“位置服务”为基石、数据支撑为核心着力打造的煤矿行业领先的一体化智能管控平台，依托“物联网整合、互联网传输、数字化集成、可视化保障、智能化操作”技术，建立了统一数据集成机制，实现了生产全过程一体化智能控制、经营全流程一体化协同管理，全面提升了矿井智能化水平；最终实现安全生产、风险预警、应急联动、智能决策、设备全生命周期管理、综合调度等智能应用与管控，见图 1。



图 1 一体化智能管控平台

(二) 主要建设内容

1.构建基于统一数据标准、以 GIS 空间位置服务为主线的矿井各类数据综合应用，实现协同“制图”、规范“管图”、整体“看图”、决策“用图”的管理模式，即“一张图”全息智能管控，见图 2、图 3。



图 2 智能管控一张图



图 3 智能管控一张图数据展示

2.根据矿井煤层赋存条件以及灾害类型，组合配置出相对应的安全监控与评价体系，分析结果与双预控系统联动，并实现应急救援指挥、避灾路线的动态规划，最大程度降低灾害对矿井安全生产的影响，最终构建高河能源灾害综合决策

分析模型与体系，见图 4。

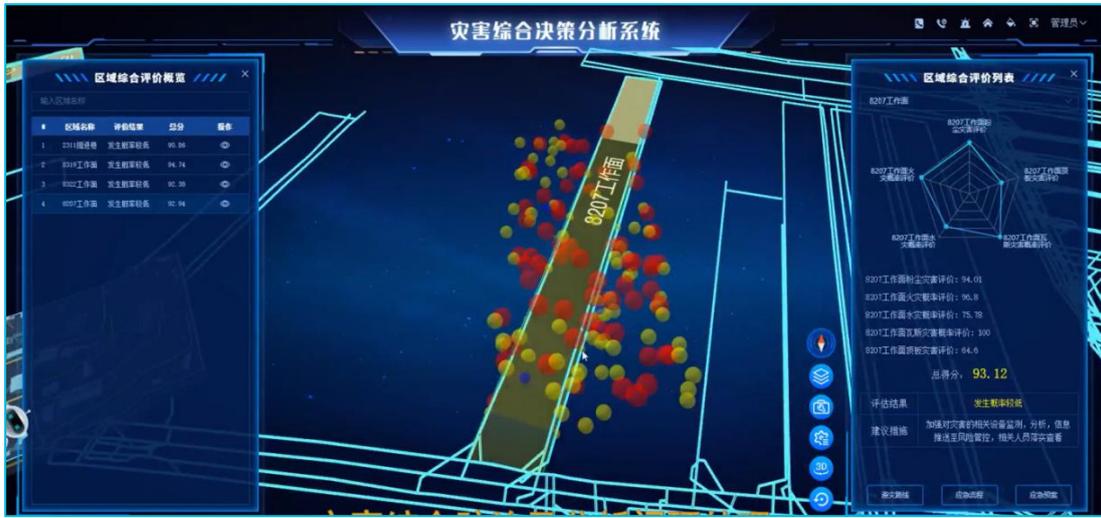


图 4 灾害综合决策分析系统

3.基于 RED-MOS®大数据分析服务，建立覆盖全矿各专业业务的多维度预警报警模型，基于“一张图”位置服务实现重大危险源预警报警融合智能联动，见图 5、图 6。

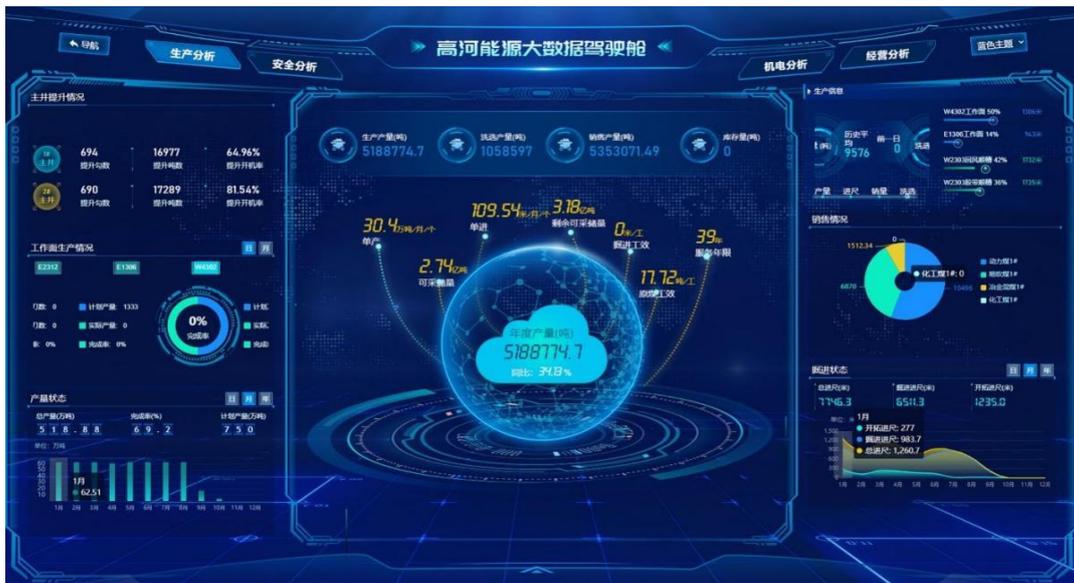


图 5 大数据驾驶舱



图 6 安全生产态势感知平台

4.基于 RED-MOS®可视化 Web 组态服务，实现数据接入、组态画面自由定制和快捷更新，实现生产过程各类自动化子系统的集中管控，并可基于 Web 浏览器及手机移动端实现便捷应用，见图 7。

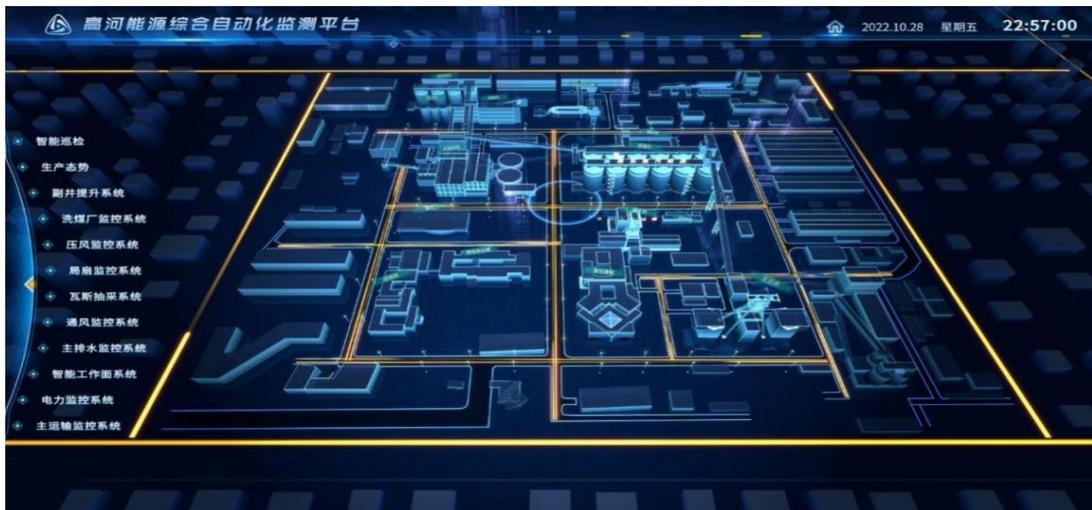


图 7 综合自动化监测平台

5.利用手机 APP 实现安全隐患日常智能巡检，井上下巡检人员可进行点对点、点对多集群的视频语音通话，实现隐患、故障等远程排查及应急处理。

6.基于 RED-MOS®数字孪生技术和 AI 语音服务，建立高河能源三维全景智能调度管控，为调度人员提供集“人、机、料、法、环”为一体的日常调度、人机交互数据查询及决策分析，并实现了智能 AI 语音调度功能，见图 8。



图 8 智能综合调度平台

7.基于 RED-MOS®的 3DGIS 服务与“数字采矿”理论，构建高河能源透明矿山模型，实现煤矿安全、生产、工程动态数据与地质模型的深度融合与动态预警，为煤矿安全生产提供“可视可查、可推演、可分析”的软件工具，见图 9。

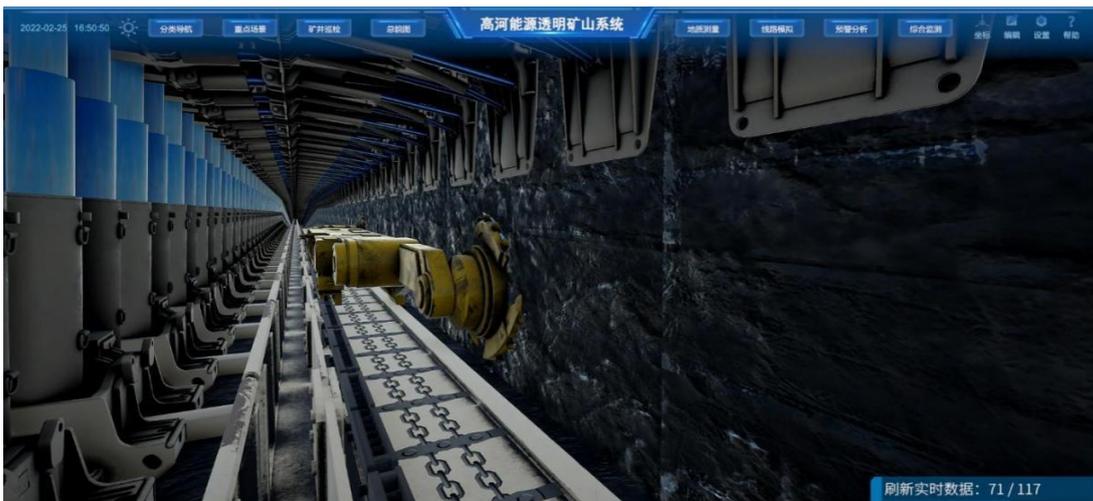


图 9 透明矿山系统

8.构建高河能源专属 VR 实训基地，实现井下关键作业场景漫游，最大程度还原采掘工作面工况并进行相关工艺、设备教学讲解和灾害应急逃生演练，有效提高职工的岗位操作水平和事故应急处置水平。

（三）工作经验

1.深入调研完成一体化智能管控规划设计

建设应以规划先行，通过行业对标和经验借鉴，选取先进适用技术，构建矿山“智慧大脑”的顶层设计。

2.以轻量化、便捷式交互体验提高平台使用率

通过“一步即达”交互设计，形成轻量化视频流媒体服务、Web 组态化服务和 AI 语音调度机器人“小矿”等应用，其即时反馈、便捷的交互体验深受技术人员喜爱，平台使用率不断刷新。

3.推动一体化智能管控建设成果共享应用和普及

采取开设短视频、专题广播、报纸专版、电视频道等多种形式，广泛开展一体化智能管控平台的功能特性和应用情景等知识宣传和普及工作。制订详尽的系统培训计划，提升和发挥各部门参建共建的能力和积极性，充分汇集全矿智慧和力量，不断促进一体化智能管控建设完善和成果共享。

二、技术特点及先进性

（一）统一智慧矿山工业物联网操作系统

智慧矿山工业物联网操作系统（RED-MOS®）作为智慧矿山建设的基础，其向下兼容各种矿用智能设备、传感器、子系统的数据接入与设备控制，向上为矿山智能应用子系统提供服务。实现多源异构感知数据的集成和融合，打通感知数据和基于感知数据的智能应用之间的屏障。

（二）RED-2D/3D GIS 提供多业务在线协同管理与位置服务

基于 RED-MOS®的 RED-2D/3D GIS 服务，采用“一数同源、一源多用”的设计理念，为精准定位、地质保障、灾害防治、应急救援等多业务场景应用提供全方位的位置服务；为采、掘、机、运、通等业务在线协同管理提供二三维一体化数据同步更新服务、协同设计服务、组态化服务等基础服务，实现矿井安全生产“一张图”全息智能管控与可视化展示——“所见即所得”。

（三）智能网关赋能 OT 子系统，确保一体化的“可视、可管、可控”

基于完整、适用的数据标准和智能管控体系。智能网关具有广泛的通信协议兼容性，能够屏蔽不同子系统厂家的接口差异；支持向第三方提供标准化数据接口，实现跨平台、跨应用的数据共享交换；同时，基于内置的联动控制规则库，可为用户自定义多系统联动控制规则提供可视化编辑与低代码开发。

（四）智能 AI 语音调度机器人“先进、易用、实用、可靠”

国内首台智能 AI 语音调度机器人，使用户仅通过简单的“人机对话”，为

智能管控提供自动交互与快速反馈的应用，同一界面同步定位、信息调取与智能分析且自动呈现，真正实现了“脱离鼠标键盘、解放双手”的高度智能化应用。

三、智能化建设成效

（一）管理提升。平台使得高河能源传统的线下工作流程处理转变为信息化平台自动驱动流程执行，优化企业管理、减少流程冗余。通过打造高河能源煤矿“智慧大脑”，有效提升企业对于信息及资源的掌控能力、调度能力和决策指挥能力。

（二）安全提质。平台通过大数据分析量化安全风险并预警报警，建立专家决策知识库促进安全管理提升，透明化矿山系统让矿井安全生产全景可视可控，信息化手段和智能化交互提升矿井应急救援指挥能力，促进本质安全实现。

（三）降本增效。平台建立统一的数据输入与输出标准，打破“信息壁垒”，避免重复建设。原离散的工控系统全部实现无人值守和统一调度集控，部分岗位被智能化管理手段替代。由于实现了数字孪生、流程优化、智能调度、集中控制，减少了设备空转时间，提高了运行效率，降低了能耗。

案例 9 新元煤矿作业流程智能管控平台

主要完成单位：山西新元煤炭有限责任公司

一、主要建设内容

2020 年 4 月，联合中国移动、华为建成了全国首座 5G 煤矿，2020 年底新元公司开始进行作业流程管控平台的技术研讨，并随后在综采设备检修、供电巡线、主通风机房巡检等场景进行了试验。2022 年开始正式进行作业流程管控平台的建设，完成了对其服务的本地化部署，并在三大场景进行设计配置，目前已经开始上线运行。

（一）5G 网络建设及技术应用

1. 煤矿 5G 网络技术创新突破

一是部署全国首个井上、下 5G 网络，解决井下环境复杂、无 GPS 信号问题。二是全国首家完成井下基站防爆煤安双认证。三是完成公网专用+边缘计算部署，实现了主数据处理不出矿，确保了数据安全，降低了数据传输时延。四是 1:3 超千兆上行网络部署，满足工业大上传网络需求。五是“UPF+”方案部署，保证网断业务不断。六是完成了 SPN 切片分组网络，实现控制、视频等不同业务数据隔离传输。七是煤炭行业首个完成 MEP 应用部署，实现 MEC 边缘计算平台应用。

2. 煤矿井下 5G 技术典型应用

新元公司目前正在开展 5G 应用接入的基础探索研究，包括煤矿固定岗位无人值守、综采工作面、掘进工作面、井下物联网、视频 AI 识别的 5G 应用探索测试。

（1）5G+智能化综采工作面：探索基于 5G 技术的综采工作面高清视频大容量同步传输和生产监控数据低时延远程交互技术研究。

（2）5G+智能化掘进工作面：试验基于 5G 网络的掘进机远程监控、自主导航行走，自动定位截割等功能。

（3）NB 物联网井下应用：通过 5G 网络实现监测数据采集和上传，可解决有线传感数据组网复杂、供电困难、数据传输易丢失、人为抄表数据失真等问题。

（4）5G+巡检机器人应用：探索基于 5G 技术的机器人巡检技术，为解决井下设备无人巡检提供技术积累。

（5）视频 AI 智能识别：实现井下透明可视化，利用视频识别系统辅助决策，对现场安全监管意义重大。

（二）作业流程管控平台建设

在新元公司 5G 网络覆盖和虚拟化数据中心的基础上，建设了“智能作业管理平台”，重塑公司井下流程化作业传统管理模式，彻底改变目前验收、检修质量不高等现状。基于 5G、AI、云计算技术，助力新元公司推进数字化进程。

1. 巡检作业

大量岗位都需要进行例行巡检，巡检过程中，巡检结果采用线下纸面管理，巡检过程并没有详细记录，存在一些管理监督上的问题，此场景应用将传统的纸面巡检方式，转移到线上。系统通过覆盖的 5G 通讯网络定时下发检修任务，巡检工接收到任务信息开始执行巡检任务，完成后上报，系统自动生成报告并存储至数据中心。

使用系统后巡检任务由系统定时下发，预先设定后无需人工干预。巡检过程中可以保存视频、图片等，并且方便查询历史记录。巡检时间由系统自动生成，巡检工不能随意填写。可以一键生成报表，报表样式排版可以自定义，报表字体工整、格式统一。

2. 问题隐患排查

在问题隐患排查过程中，传统的记录方式是将发现的问题用纸件记录，通过面对面的方式或者在例会上将问题进行传递，系统上线后，将传统的纸面管理问题的方式，转移到线上处理。问题排查人员井下发现问题后在系统上创建问题单，关联到整改责任人，责任人通过 5G 通讯网络接收到消息后处理问题，并在系统上进行进展反馈，直至问题处理完成后申请关闭，问题排查人员系统上确认问题处理情况，完成闭环。

问题记录可以采用文字、图片、视频等多种方式，描述清晰。问题提交后，对方可以在系统上查看，也可以随时随地在手机端查看。问题由系统进行跟踪，未及时处理的问题，系统会通知提醒，不会出现问题遗失的情况。系统可以自动对问题进行分类分析，找到故障率高的类别，还可以查看问题处理的全貌，方便问题管理。

3.工程验收

井下工程需要验收时，需要牵头部门协调相关队组负责人到现场进行验收，验收过程中采用纸质记录，然后将存在的问题纸件传递，验收结果纸件归档，此场景应用将传统的作业验收转移到线上。工程验收组织人员在系统创建验收任务，并填写验收基本内容，现场验收人员进行验收信息采集，并通过 5G 通讯网络进行信息上传，所有参与验收的责任人确定验收结论，系统自动生成报告后归档。

验收过程中通过防爆手机直接录入到系统。所有的验收记录都保存在系统中，存在数据库中，不存在丢失的风险。事后无论多久，可以一键查询，方便快捷。可保存验收过程中的视频、图片、语音等多种形式的信息，多方位记录作业现场的情况。

二、技术特点及先进性

新元公司从 2012 年开始进行全矿井智能化的探索实践，开展了基于 5G 技术的智能化研究与应用。新元公司在综合智能化监测监控方面取得了一些成果经验，但是在现场作业管理方面仍存在技术短板，尤其在巡检、隐患排查、工程验收、临时作业等过程，大多仍采用传统的纸面、线下方式，数字化、信息化水平低，甚至在一些环节仍存在大量的监管空白。

煤矿传统行业数字化基础差、水平低，为了提升公司信息化水平，2020 年新元公司与华为公司深入创新合作，建成了全国首座 5G 煤矿，开创并引领了中国矿业领域 5G 技术应用潮流，同时将作业流程管控平台引入到煤矿的巡检、问题管理、工程验收等现场作业环节。

三、智能化建设成效

1.将原先线下的作业逐步迁移至线上，系统可以实时反馈作业进度，管理人

员可以及时掌握现场作业情况，原先基本靠现场岗位人员的汇报。

2.有效保证现场作业的真实性、客观性，系统设计需要现场作业人员进行图片、视频等佐证信息的录入，并在作业过程中自动添加防伪水印，无法进行人为造假。

3.便于现场作业的管理，可以通过设备、时间、人员等多个维度进行自动统计分析，实时评判各项作业的安全质量水平，并配套指挥运营大屏系统，方便管理人员进行决策。

4.现场作业实现规则在线化，作业人员使用防爆手机等终端作业时，系统关联各作业岗位的操作标准和技术指导，助力岗位的标准化。

5.大幅提升协同作业效率，部门之间协作消息自动推送，执行过程在线流转，减少原先批票、沟通、开会等的频次，降低沟通成本。

6.形成数据资产，系统提供多种查询功能，方便进行历史追溯，还对重要事件进行跟踪和超时提示，解决原先线下业务纸面资料造成遗失、时间久造成遗忘、资料多造成查找困难等等难题。

案例 10 张家峁煤矿智能化综合生态巨系统

主要完成单位：陕煤集团神木张家峁矿业有限公司

一、主要建设内容

神木张家峁煤矿作为投产多年、年产千万吨煤矿，亟需智能化改造提升企业竞争力，而改造面临子系统众多、架构不一致、协议不统一、数据不集中、生产工艺装备无法满足智能化建设和运营需求等问题。为解决这些问题，本项目以“全矿井信息全面感知、数据融合及分析”和“关键装备智能化改造”两类问题为出发点，以智能化煤矿巨系统顶层规划设计方案为核心，以全矿井跨域融合智能综合管控平台为手段，以开采、掘进、安全保障等系统智能化改造为基础，形成以“1+3+8”为基本架构、覆盖生产生活办公各个环节的智慧便捷高效的全矿井智能化综合生态巨系统。

（一）智能化煤矿复杂巨系统顶层规划设计

国内首次面向全矿井提出了智能化煤矿复杂巨系统“矿山即平台”顶层规划设计理念。搭建了全矿井跨域融合智能综合管控平台，构建了全矿井地面井下空间信息虚拟化服务体系和采掘全时空孪生再现技术，实现了全矿井 92 个在用系统的数据服务集成和运营决策优化。

（二）智能化少人生产系统管理

研发出支架压力、位姿及视频等智能监测传感器，提出了工作面“感知-决策-执行”一体化生产系统，实现了综采装备协同控制、故障诊断、智能预警干预，工作面内无人操作，设备开机率提升 20%，整体生产效率提高 30%。

（三）智能化巷道快速掘进系统

研发了“掘锚一体机-锚破运一体机-过渡运输”的智能化快速掘进系统。实现了掘进工作面装备成套化、监测数字化和控制自动化，提高了掘进装备掘进效率，最高日进尺 120m，月进尺达到 2702m。

（四）开发了全矿井网络化智能防灭火监测预警系统

提出了矿井通风系统装备的智能化策略，搭建了集巡检机器人多点移动式测风、风量远程定量智能化调节、风门联动灾变应急响应等功能的智能通风综合管控系统，实现了 120s 内智能辅助决策控风方案，主要井巷控风精度 >95%；构建了防尘、防瓦斯、防灭火智能化架构。

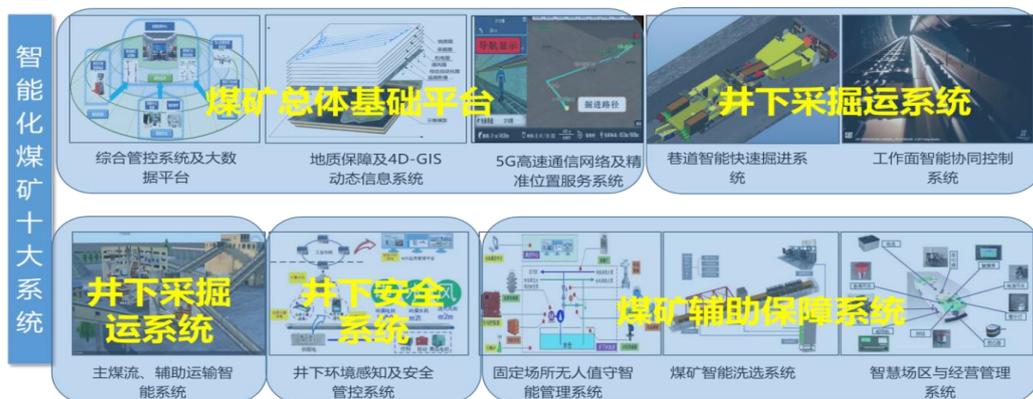
（五）创新和规范了智能化煤矿管理体系

首次实现矿区级全域多源数据深度融合，构建需求动态预测、生产精准组织、自适应控制、信息实时反馈、全员核算与智能分析为一体的智能系统，构建了业务横向协同、流程纵向贯通的智能化运行管控模式。

二、技术特点及先进性

（一）数字煤矿智慧逻辑模型研究

1.分析解构了煤矿复杂巨系统结构，提出了基于系统数据流向和功能逻辑的系统架构拓扑图，为构建具有多特征、层次化的数字煤矿智慧逻辑模型奠定基础，智慧煤矿各系统及其功能关联关系如图 1 所示。



2.构建了基于 BIM+GIS 融合的全矿井地面井下空间信息虚拟化服务体系 and 全时空孪生再现技术。采用二维、三维数据共享技术，实现三维地质模型的动态快速精准更新；采用激光点云连续化全景扫描，实现对开采空间、设备快速建模与动态更新。

3.建成全矿井跨域融合智能综合管控平台。综合管控平台由智能化感知控制系统(操作层)、大数据支撑系统(管理层)、智慧矿山应用系统(决策层)构成，彻底打通信息孤岛，实现了全矿井 92 个在用系统的集成和优化，为全矿管理提供数据服务，运营决策依据，跨域融合智能综合管控平台总体架构如图 2 所示。

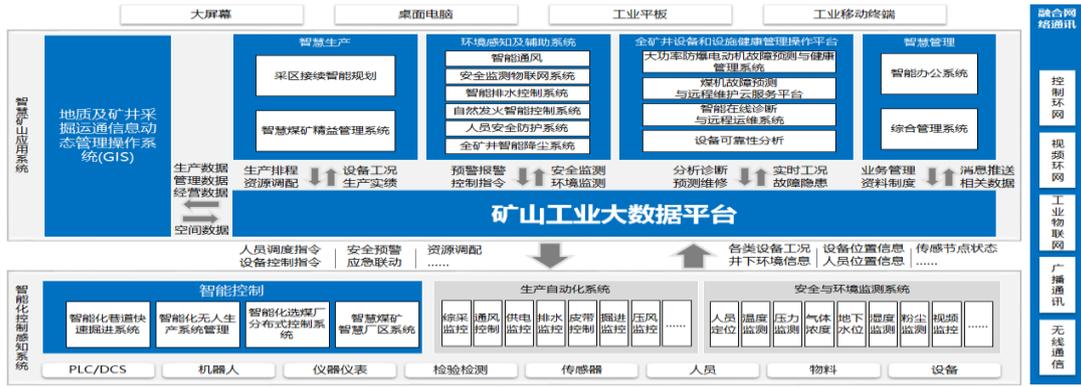


图 2 跨域融合智能综合管控平台总体架构图

(二) 智能化生产工艺和装备研发

1.研发了液压支架三轴倾角位姿监测传感器、液压支架推移行程高精度监测传感器和 AI 摄像头，构建了综采面压力、位姿、行程及视频等多传感器综合感知体系，实现了对综采设备群空间位姿关系、自身状态的全面感知，综采装备全位姿测量方案如图 3 所示。

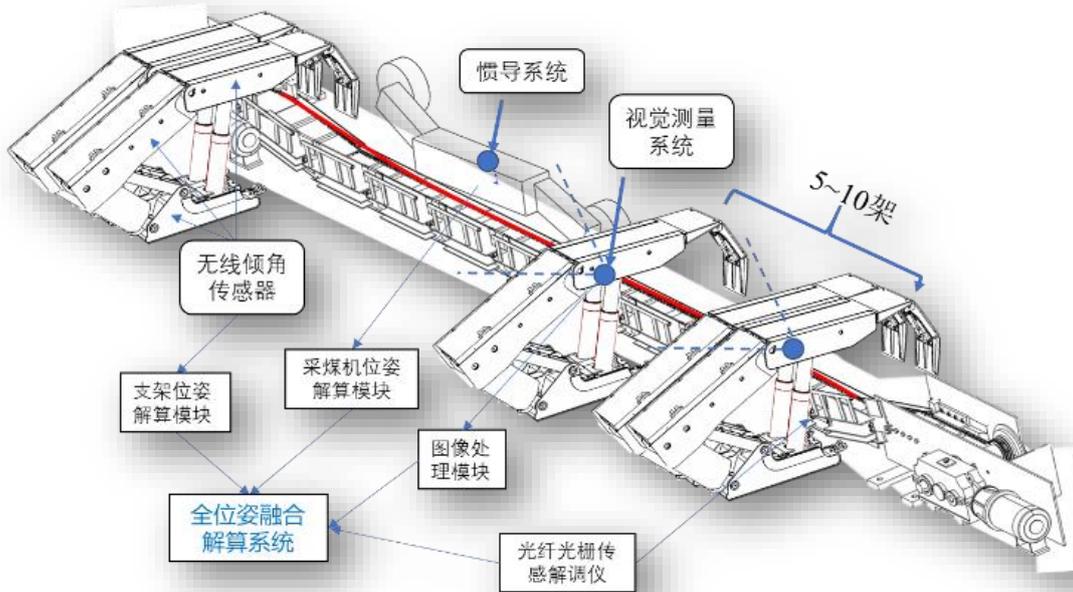


图 3 综采装备全位姿测量方案

2.搭建了综采工作面数据采集-监控中心-数据中心的三层平台软件体系，研发了基于区域协同与数据共享的综采智能化控制系统，构建了综采设备群智能化分析决策技术体系，实现了对综采装备协同控制、故障诊断、智能预警干预。

3.探究了巷道掘进“激光-传感器”融合高精度导航机理，充分发挥激光制

导误差稳定，双轴倾角仪实时在线监测的特点，形成一种全新掘进装备导航系统集成体，实现了最大 500 m 以上超长距离导航。

4.首次开发了基于 GIS 的智能掘进工作面三维数字化远程操控平台。建立多机精准定位体系及协同控制算法，实现掘锚一体机等自动运行；开发掘进作业装备的数字化孪生驱动模型和三维可视化远程集控平台，实现掘进工作面“全息”实时感知与场景再现，智能化掘进系统远程操控平台如图 4 所示。



图 4 智能化掘进系统远程操控平台

（三）安全保障和智能化管理系统建设

1.研发了集巡检机器人多点移动式测风、风量远程定量智能化调节、风门联动灾变应急响应、全矿井反风智能化调节等功能的智能通风综合管控系统，实现了矿井“一键测风、一键调风、一键反风”等八大功能，提升了矿井安全等级，风量远程定量智能化调节系统如图 5 所示。

2.构建了防尘、防瓦斯、防灭火智能化架构，提出了适用于张家岭煤矿 5⁻² 煤层煤自燃分级预警体系，建立了分级预警模型，开发了全矿井网络化智能防灭火监测预警系统。

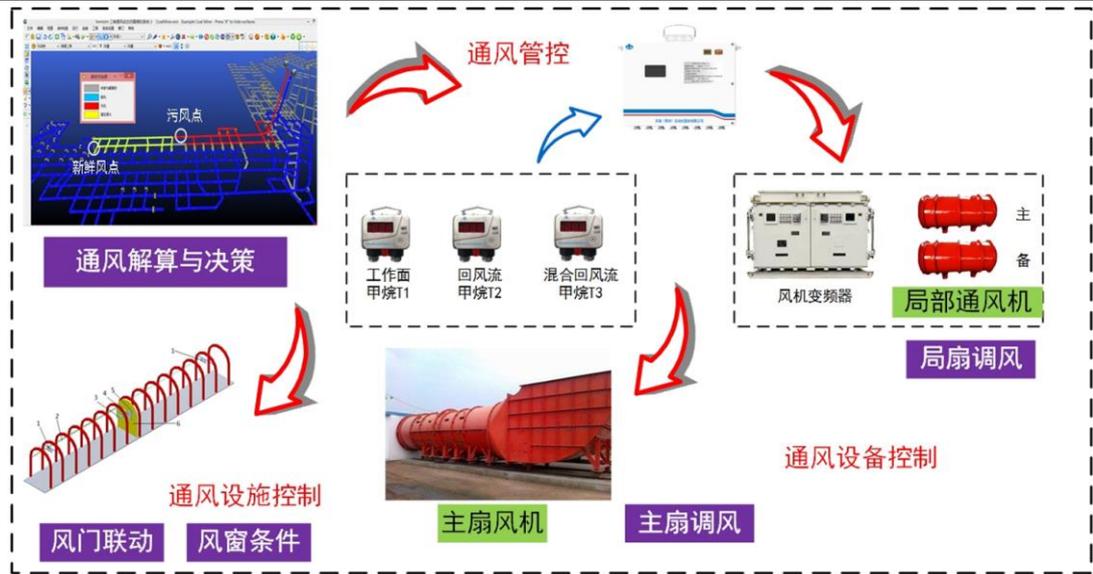


图 5 风量远程定量智能化调节系统

3.创新和规范了智能化煤矿岗位设置、关联关系和行为规范，构建了安全管理智能双重预防机制，率先在行业内落地 AI+煤矿人员作业行为智能辨识安全管理系统，形成矿区智能化网络管理、高效协同运行新生态，全矿井智能化管理总体架构如图 6 所示。



图 6 全矿井智能化管理总体架构

4.矿区采用乏风余热利用、光伏发电、热泵供热、发电地砖、智能逆变器、智慧灌溉、智慧灯杆等绿色能源供给，以及先进的储能技术，通过通讯闭环控制，实现矿区能源的互补。

三、智能化建设成效

建设的智能化综合管控平台具备了信息实时反馈、生产精准组织、装备自适应控制、安全智能分析、趋势动态预测功能。综采生产链系统每班生产人员由 69

人减至 26 人，减员 43 人；首次开发了智能化掘进工作面三维数字化远程操控平台，实现了掘进作业流程自动化、监测数字化和掘进少人化，月进尺可达到 2702m。构建了防尘、防瓦斯、防灭火智能协同安全保障系统，全方位提升了矿井智能化水平。

案例 11 小纪汗煤矿智能地质保障系统

主要完成单位：陕西华电榆横煤电有限责任公司

一、主要建设内容

小纪汗煤矿地质保障系统依托物联网、大数据、人工智能等技术将矿井地质及各系统数据深度融合，建设了具有地质数据数字化管理，三维地质模型自动构建、展示、推演分析的透明矿山业务管理系统。

（一）空间地测数据库

建立地质数据库、水文数据库、钻探数据库、物探数据库、测量数据库、储量数据库、文件存储服务模块、地质数据传输模块。

1.统一地质保障数据标准

按照煤矿相关规程、规范，将煤矿地质、水文地质、测量、储量、物探等方面以图纸、台账、文本、报告等形式表达的成果数据（包括地质、水文钻孔数据、地层、煤层、地质构造数据、煤质数据、储量数据、工程地质数据、水害隐蔽致灾因素调查成果、水文监测数据、抽水试验成果、物探成果资料、水质化验资料、涌水量观测资料等）标准化处理，基于统一架构、统一标准、统一认证和统一运维管理理念，建设智能化煤矿地质保障数据和应用标准，实现数据采集、数据编码、数据存储、数据交换和传输的规范统一，见图 1。

序号	地层名称(层)	地层名称(组)	地层名称(统)	地层名称(组)	地层名称(组)	地层名称(组)	操作
1	新生界	第四系	全新统			全新统(Qh)	编辑 删除 ↑ ↓
2	新生界	第四系	上更新统	马兰组		马兰组(Qp3m)	编辑 删除 ↑ ↓
3	新生界	第四系	上更新统	萨拉乌苏组		萨拉乌苏组(Qp3s)	编辑 删除 ↑ ↓
4	新生界	第四系	上更新统			上更新统(Qp3)	编辑 删除 ↑ ↓
5	新生界	第四系	中更新统	离石组		离石组(Qp2)	编辑 删除 ↑ ↓
6	新生界	第四系	中更新统			中更新统(Qp2)	编辑 删除 ↑ ↓
7	新生界	新近系	上新统	静乐组		静乐组(N2)	编辑 删除 ↑ ↓
8	新生界	新近系	上新统			上新统(N2)	编辑 删除 ↑ ↓
9	中生界	白垩系	下统	洛河组		洛河组(K1)	编辑 删除 ↑ ↓
10	中生界	侏罗系	中统	安定组		安定组(J2a)	编辑 删除 ↑ ↓
11	中生界	侏罗系	中统	襄罗组		襄罗组(J2z)	编辑 删除 ↑ ↓
12	中生界	侏罗系	中统	延安组	延安组第四段	延安组第四段(J2y4)	编辑 删除 ↑ ↓
13	中生界	侏罗系	中统	延安组	延安组第三段	延安组第三段(J2y3)	编辑 删除 ↑ ↓
14	中生界	侏罗系	中统	延安组	延安组第二段	延安组第二段(J2y2)	编辑 删除 ↑ ↓
15	中生界	侏罗系	中统	延安组	延安组第一段	延安组第一段(J2y1)	编辑 删除 ↑ ↓
16	中生界	侏罗系	下统	富县组		富县组(J1f)	编辑 删除 ↑ ↓
17	中生界	侏罗系	上统	瓦窑堡组		瓦窑堡组(J3w)	编辑 删除 ↑ ↓

图 1 空间地测数据库

2.数据库管理模块

运用大数据技术，数据库管理模块，实现地质数据可视化和检索、查询、编辑维护、统计、输出等功能。B/S 端、C/S 端、可视化数据管理界面，包含表、文件、图件等数据的实时查看、数据的实时管理等；设计权限系统，规范数据的访问规则；设计地质报表及分析系统，实时展示重要地质数据，见图 2。

序号	钻孔名称	孔口坐标X	孔口坐标Y	孔口标高	开工日期	竣工日期	施工单位	操作
1	ZK19A12F	3737180.95	4255014.09	1212.38	2008-10-08	2008-10-23		查看 编辑 删除
2	ZK1612	37370291.32	4259168.27	1208.63	2008-09-12	2008-10-18		查看 编辑 删除
3	ZK1612F	37371176.79	4259247.32	1202.22	2008-10-10	2008-10-27		查看 编辑 删除
4	ZK1408	36627146.2	4261557.62	1227.78	2008-10-06	2008-10-15		查看 编辑 删除
5	ZK1313	37371964.5	4262488.65	1190.16	2008-10-29	2008-11-08		查看 编辑 删除
6	SK1907	36626635.07	4255694.12	1238.22	2008-09-25	2008-11-05		查看 编辑 删除
7	ZK2312F	37371128.95	4250906.39	1212.5	2008-09-03	2008-09-29		查看 编辑 删除
8	ZK1512	37370320.96	4260970.7	1205.62	2008-09-28	2008-10-09		查看 编辑 删除
9	ZK1511	37369512.34	4260848.51	1209.17	2008-10-12	2008-10-22		查看 编辑 删除
10	ZK1510	36629656.32	4260802.8	1217.54	2008-10-08	2008-10-19		查看 编辑 删除
11	ZK15A08	36627239.24	4259933.9	1231.2	2008-08-30	2008-09-14		查看 编辑 删除
12	ZK15A08F	36628025.7	4259925.05	1227.05	2008-10-22	2008-10-31		查看 编辑 删除

图 2 数据库管理

（二）多源地质数据融合

1.空间地测数据库融合包括地面、井下、采煤工作面的全空间、多方位、立体式综合勘探理论及技术手段及高精度智能化钻、物探监测设备成果；不同探测、监测设备需具备数据转换服务，提供 IoT、OPC、WEB API 等接口，实现数据采集标准化及各系统的无损对接、有效共享，建立工作面围岩及致灾因素的透明感知技术体系。

2.空间地测数据库提供矿方原有地测及各系统数字化数据（各类图形文件、数据库）转化对接功能，降低现有地测管理系统向云平台转化时所需的人力、物力成本。

3.空间地测数据库提供地质编录数据管理系统及地质编录服务，采用智能化地质数据采集工具，实现地测数据的自动回传、入库。

4.空间地测数据库提供专业化 OCR 数据采集功能，采用自动化图纸、台账识别工具便捷地将煤矿各类纸质图纸、台账资料提取并数字化，转化为标准的数

据结构后编录入库。

（三）空间信息可视化展示

1. 数据驱动成图

以空间地测数据库中数据为依托，自动提取所需地质、水文地质、测量等要素，可根据具体分析需要自动生成各类平面图、剖面图以及各类专题图件，自动生成标准的矿井地质和水文综合图，如钻孔柱状图、采掘工程平面图、地质剖面图、井田构造纲要图及其他图件，当云平台中对地质要素数据进行更新后，综合图可做到相应地同步更新,实现矿图的全数据驱动，见图 3。

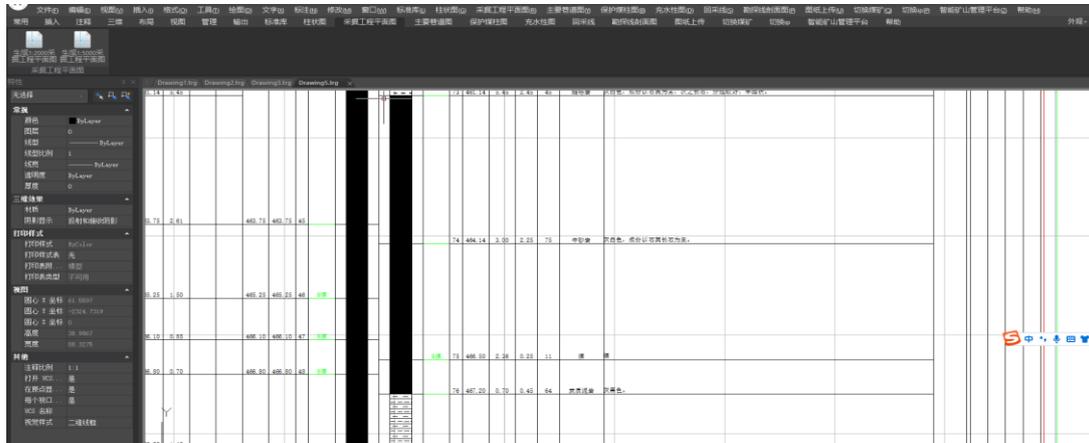


图 3 综合柱状图

2. 空间数据可视化管理

空间地测系统支持 C/S、B/S 架构可视化数据展示界面，依据设置的数据获取权限，可实时访问、查看文本、表格、图件等各种形式的地质保障数据及其关联分析和预测分析结果。同时，具有图形管理操作功能。

（四）地质模型动态更新

充分利用煤矿生产各个阶段的多源异构地质数据，通过这些数据提取出可适用于煤炭智能开采的地质信息，进而实现工作面地质透明化。基于多源数据融合技术和三维可视化建模技术，将井下各类物探、钻探数据进行集成、融合和分析，实现模型的动态更新和实时可视化表达。在此基础上，构建数字孪生模型，将真实开采工况映射至虚拟空间，对物理实体的几何、构造特征进行仿真描述，基于一个多维多属性矢量空间框架与平台，真实展现出物理模型的几何形态和属性状态，指导智能开采，实现三维动态地质模型与煤矿生产决策系统实时互馈和动态

优化，见图 4。

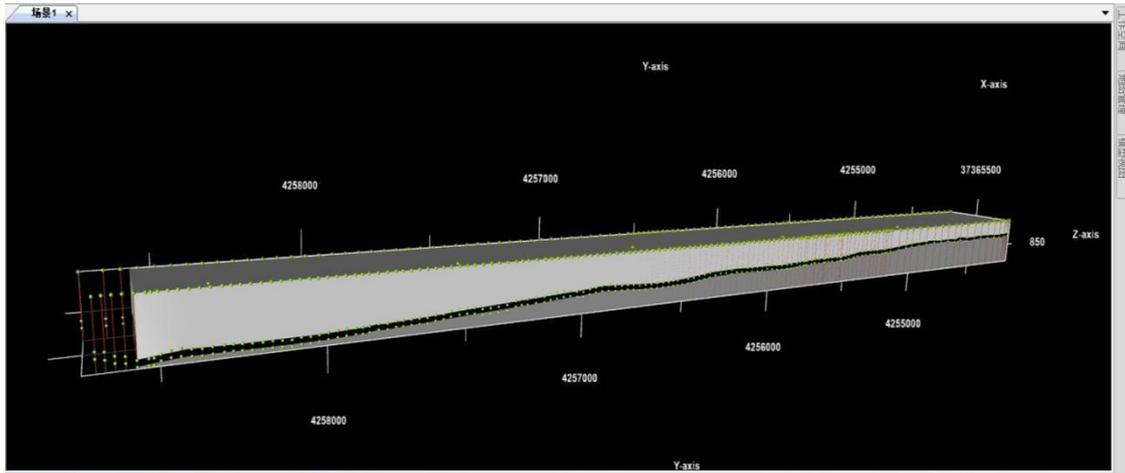


图 4 地质模型动态更新

（五）水文监测系统

针对采掘存在的水害相关因素，在矿井现有水文观测系统建立多参数实时水文动态监测系统，通过地面及井下水文因素传感器实时在线监测地面及井下水体重要水文参数，并以图表、曲线等模式将水文监测数据以数字化、图像化形式动态显示与输出分析，对超限指标及时预警异常水情状况，实现与排水系统应急联动控制。

（六）水害智能仿真

系统实现水灾避灾路线规划，根据人员定位展示，与矿井监测系统同步。通过实时获取矿井人员定位信息，定位井下真实人员数量点击可查看人员信息，附近环境相关信息，实现系统联动，保障人员安全；系统接入井下水文监测系统，实时监测水文条件，监测水文观测孔的水压，变化情况，支持设定阈值出发报警；井下发生紧急涌水或透水事故时，依据水害智能决策系统和大数据分析技术，平台及时启动应急响应机制，自动分析排水设备设施运行状况、事故区域划分、大功率应急排水设施设备启停，为智能排水系统提供预警信息，实现实时联动，实时三维映射全矿井供排水管网的实际运行工况并具备历史回溯功能。

二、技术特点及先进性

地质保障系统结合煤矿日常地测业务，采用数据“分子化”结构搭建了煤矿全要素地测数据管理及分析平台，实现了矿井地测数据标准化存储、跨系统融合

以及二、三维展示；以数据驱动自动化生成常用矿图，取代了传统繁复的手工制图；基于 GIS 平台针对矿井地质条件构建分析模型，推演地质规律，开展预测预报；构建了高精度、实时更新的三维地质模型，提供三维场景模式下的地质要素展示、查询、分析及预警功能，做到了对矿井生产安全的保驾护航。构建了地测数据融合平台、数据驱动成图系统、地测业务协同系统、GIS 分析平台、透明开采三维地质辅助决策系统 5 个子系统。

地测数据融合平台将矿井所有地测相关数据全覆盖建模，将分子化的数据带属性的规范存储于地测空间数据库中，并将这些数据共享给采掘机运通等各生产、安全系统提取使用，有效解决了地测数据实时共享问题，确保了全矿采用的地测数据质量可靠、同一来源，同步更新。

数据驱动成图系统以地测数据融合平台为依托，提取地质、水文地质、测量等要素数据，驱动绘图引擎自动生成各类矿图，包括采掘工程平面图等常用矿图和按需定制矿图。解决了人工绘制矿图耗时、易错、数据不统一、图例不规范的问题。

采用地质条件约束下的隐式空间插值算法，考虑了插值特征值空间分布上的局部各向异性。基于面体混合建模技术，构建了“透明地质”结构和属性模型；并应用预测地质体与真实地质体交互反馈的数字孪生技术，实现了生产过程中地质基础数据与“透明地质”模型的动态互馈，提高了三维地质建模精度。

三、智能化建设成效

智能地质保障系统实现了地质数据数字化管理和深度融合，实现空间信息可视化展示和动态更新，实现地测业务协同及仿真预警，为矿井地测业务管理带来极大便利，提高了工作效率，规范了业务及数据处理流程，避免了人工主观性技术差错。

GIS 分析平台实现了矿井地质要素的关联分析、地质规律的推演预报，并通过以等值线、玫瑰图等方式来展示煤层赋存、构造展布、水文特征等分析成果。借助数据融合平台及大数据分析方法提高了地质分析预警的能力。

透明开采三维地质辅助决策模块构建了矿井、工作面动态更新的高精度三维

地质模型,直观展示地层、煤层、地质构造的空间形态以及它们之间的相互关系,解决了当前工作面采掘前方地质数据精度不满足智能化采煤要求这一问题。利用三维地质自动建模、GIS、UE5 等先进技术,建立小纪汗煤矿基于数据驱动的智能综采、掘进工作面数字孪生管控系统,实现了小纪汗煤矿采、掘工作面透明化、智能化及各子系统之间的智能融合联动。企业的控制层和经营决策层通过调度中心可随时掌握综采工作面的生产经营状况,基于数据驱动的智能综采、掘进工作面数字孪生管控系统的建立,为小纪汗煤矿管理者提供了更精准的决策分析,有效提高小纪汗煤矿经营管理水平和效益。

案例 12 杨柳煤矿地质三维建模与可视化系统

主要完成单位：淮北矿业股份有限公司

一、主要建设内容

地质保障是矿山采掘生产技术管理的基础，为此杨柳煤矿将地质数据与工程数据深度融合，建成三维智能建模与可视化系统，实现矿井地质基础信息、关联信息、预测信息三维可视化，为矿井生产技术管理提供三维可视化数据分析平台，推进智能采掘生产技术升级。

（一）空间交互，优化采掘生产设计，提升本质安全

采掘巷道设计与地质构造密切相关，最大限度地优化生产设计是巷道快速安全掘进、工作面安全高效回采的关键。杨柳煤矿通过三维地质模型进行空间交互式采矿设计，根据设计意图，自动计算设计巷道与地层间法距，优化掘进路线及巷道间空间关系；通过配准功能将工作面煤巷设计与煤层三维模型高度拟合，实现工作面设计三维立体化，自动计算工作面设计巷道的预计施工坡度，并进行智能动态调整，提前模拟、规划工作面煤巷掘进遇地质构造施工方案，优化设计成果，从设计源头不断提升矿井采掘生产安全性。

（二）智能分析，强化采掘技术管理，助力精准决策

杨柳煤矿三维智能建模与可视化系统，能够可视化呈现煤岩体空间赋存状况、地质构造产状、煤层与巷道开拓之间的空间位置关系、主要生产系统设备管线布置等关键信息，同时系统具备强大的数据推演和并行计算能力，可基于三维模型智能空间融合统计分析，在矿井采掘技术管理中发挥重要作用。

1. 三维模型智能动态透明剖切

三维地质模型可在任意方向、任意角度进行透明剖切，按需要移动剖切线位置，动态切割地质体，滚动平、剖面对照显示剖切位置地质模型前向形态和剖面视图，技术管理人员可随时查看矿井任意位置地质剖面视图，及前方地层分布及地质构造产状，动态模拟采掘施工及揭露地质构造过程。为采掘施工方案编制、

技术措施制定等提供三维空间地质数据分析平台，如图 1 所示。

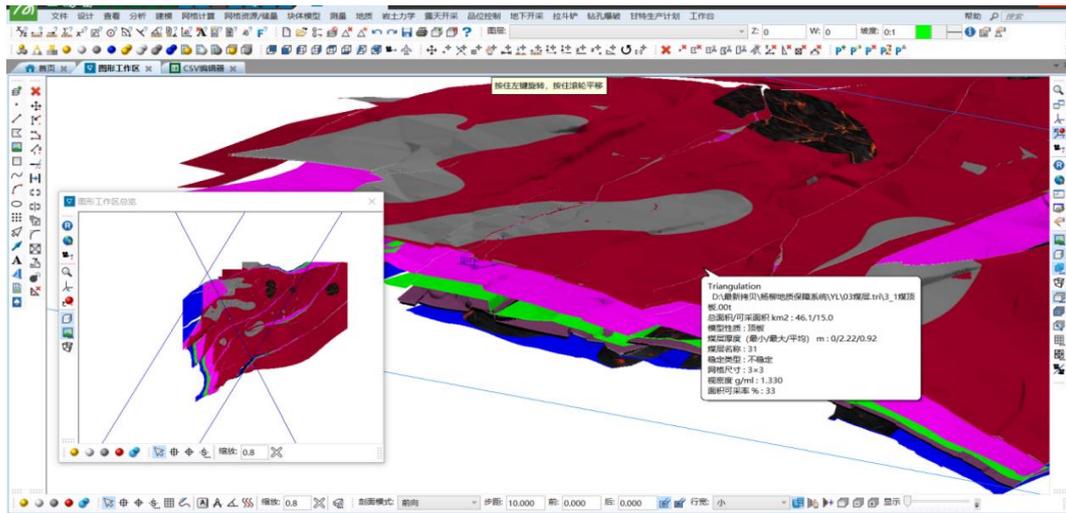


图 1 杨柳煤矿可采煤层三维智能动态透明剖切

2.智能生产计划编制+4D 动态模拟分析

三维采矿设计成果与地质模型相结合，技术管理人员可根据矿井生产计划安排，编制详细的生产接续计划，自动生成生产接续计划甘特图，并根据生产计划调整智能更新。采掘计划可以直接以动画的形式，按设定流动时间进行三维空间采掘过程的动态模拟，可以直观地查看采掘巷道施工时间内的动态空间关系，检验生产计划编制的合理性和施工的安全性，如图 2 所示。

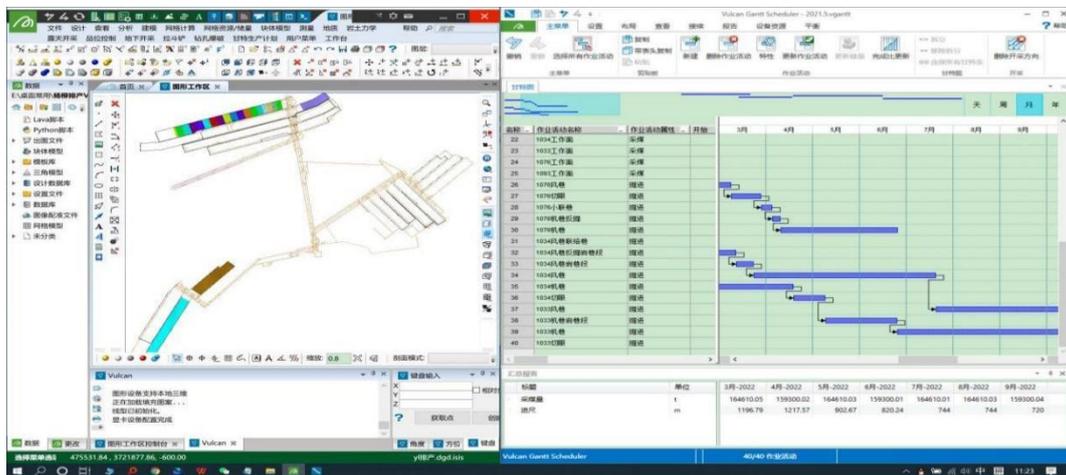


图 2 智能生产计划编制

3.煤层赋值工作面信息透明分析

通过块体模型将瓦斯参数、水文地质、煤质等地质关联信息赋值到煤层中。可查看煤层任意位置的地质基础信息、关联信息和预测信息，实现煤体属性信息透明化，为工作面智能采煤提数据支撑，如图 3 所示。

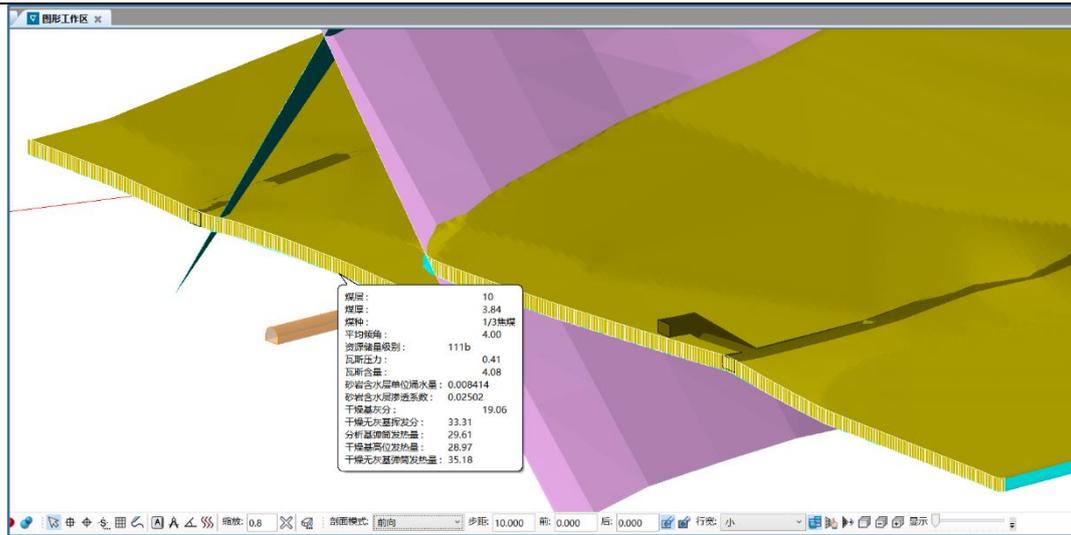


图3 杨柳煤矿 1077 工作面煤层 HARP 块体模型赋值

（三）系统融合，指导采掘智能施工，深化减员提效

三维地质模型如何应用于智能采掘系统指导施工，是矿山智能化建设中一直研究的主题，杨柳煤矿采用了如下做法。

1.创建 1077 工作面精细模面型指导智能采煤

在杨柳煤矿 10 煤层三维模型中切块 1077 工作面开采范围，进行高精度再创建，集成工作面巷道、钻孔、各系统设备管线等三维模型，模型数据精确且体量较小，采煤系统接入方便，动态更新灵活、快速；能随时查看回采前方煤层产状、断层、钻孔等相关信息；可在模型任意位置动态透明剖切，动态查看地质剖面，模拟工作面回采前方煤层起伏及过地质构造情况，指导智能采煤施工。

2.创建 1076 工作面切块模型指导煤巷智能掘进施工

为指导 1076 工作面两巷智能化掘进施工，制作 1076 工作面切块模型，可随时查看掘进进度和施工前方巷道空间关系，煤层厚度、坡度及地质构造情况，为智能综掘机提供施工参数，指导智能掘进施工。

3.创建 109 采区胶带大巷迈步切块模型指导盾构机施工

109 采区胶带大巷盾构线掘进距离超长，全线创建三维地质切块模型，体量较大且动态更新慢，系统接入模型入后操作不便捷，鉴于此，按 400m 每组迈步创建巷道对应的切块三维地质模型，集成该段巷道内的所有地质数据体及设备管线模型，可随时查看掘进进度和施工前方巷道空间关系，地质构造及巷道距煤层和灰岩的法距，指导盾构智能掘进施工。

二、技术特点及先进性

杨柳煤矿三维智能建模与可视化系统基于矿井真三维基础信息数据库创建，实现了地质体三维模型智能动态透明剖切，并同步接入瓦斯监测、水文监测、人员定位、视频监控数据信息，创建井下各系统设备管线模型，将矿井地质基础信息、关联信息、预测信息可视化呈现，能有效提高矿井采掘生产技术管理能力；在与智能采掘系统融合中采用局部模型切块导入的方式，在保证地质模型精度和兼容性的同时，控制了模型导入的体量和模型日常更新工作量，模型接入后操作灵活、更新迅速，能有效指导智能采掘施工。杨柳煤矿三维模型在采掘生产技术中的应用，适用于井工及露天煤矿智能化矿井建设，能显著的提高矿井采掘生产技术管理能力。

三、智能化建设成效

（一）安全效益

地质保障是煤矿采掘安全生产的眼睛，杨柳三维智能建模与可视化系统将矿井基础数据全面三维化，井下地质全貌进行三维可视化透明呈现，系统建成以来运行流畅，模型精度充分满足安全生产需要。为矿井灾害治理、采掘施工方案等决策提供空间分析平台和地质保障数据支撑，安全效益进一步提升。

（二）经济效益

依托三维智能建模与可视化系统，通过三维地质模型优化采掘生产设计，提高设计精度，从设计源头控制生产成本；基于三维地质模型超前模拟采掘工作面前方过地质构造情况，合理超前规划采掘工作面过构造施工方案，可极大减少采掘生产中的人、机、环、管各方面投入，同时加快采掘施工进度，取得了良好的经济效益。

（三）社会效益

通过三维智能建模在智能采掘系统中的应用，大幅提高可矿井采掘系统生产技术管理能力，助力智能煤矿高效、安全建设，进一步迈向本质安全。符合智能煤矿的宗旨，在大环境中为淮北矿业集团智慧化矿山建设提供有力支撑，对矿山智能化建设、安全生产具有重大意义。

第二章 智能掘进

案例 13 黄白茨煤矿薄煤层智能采掘工作面

主要完成单位：国家能源集团乌海能源有限责任公司

一、主要建设内容

（一）概况背景

国能乌海能源黄白茨煤矿地处内蒙古自治区乌海市乌达区，是国家能源集团乌海能源公司所属的重点矿井之一。该矿智能化控制系统应用于 021301 工作面，位于 1312 上山采区南翼区域。021301 工作面倾斜长度为 235m，走向长度为 1266m，煤层自然厚度 0.71~2.20m，平均 1.49m；可采厚度 0.70~1.95m，平均 1.42m，大部分为中厚层煤，部分为薄层煤。倾角为 3-14°。021301 工作面采高、空间小，采煤工人劳动强度大，作业环境差。0213 上 201 综采工作面采用走向长壁、综合自动化、一次采全高、全部垮落采煤法。

（二）典型做法及经验

1.超前谋划，统筹下好“先手棋”。对于 021301 智能化工作面安装，该矿党委高度重视，积极部署，统筹安排，成立了安装领导小组，多次召开专题协调会议，研究制定科学周密的安装工作方案，协调处理运输、安装工程中存在的问题，同时加大干部带班、跟班力度，对安装工作线路进行巡查，对存在的隐患、困难、安装进度、质量等方面提前进行统筹计划与安排，做到有安排、有计划、有部署。为使业务人员尽快掌握智能化设备的相关知识，前期开展安装人员技术培训，组织学习新薄煤层工作面的先进技术及设备安装布置方案，掌握智能化综采设备的性能及工作原理。作业人员每天带着技术资料深入现场进行安装，从不懂到熟知，一步一个脚印，有序地开展智能化工作面建设工作。

2.因地制宜，规范操作保安全。在安装期间，该矿将精细化管理落实到每个环节，根据现场实际情况，利用“清单式”管理方法，将安装所需的设备、配件、工器具及材料等列出安装清单，对照清单按照时间节点逐一进行解体、装车、运输，确保工作面安装准备工作有序开展。同时狠抓现场管理，组织职能业务科室

管理人员进行现场跟班，指导并监管现场安全；设专人开展“敲帮问顶”、巡查轨道、维护保养绞车等工作，严格落实各项规程措施，严把进度关和质量关。

二、技术特点及先进性

（一）边掘边锚快速掘进成套技术及装备

1.锚护系统快速移动技术，提出了支架分步式跟机方法，设计了自移式联排支架，建立了联排支架与锚杆协同支护体系，使临时支护与锚杆支护的配合更紧密，保障掘进工作面支护工作的安全性与灵活性。自移联排支架如图 1。



图 1 自移联排支架实景图

2.设计了窄型液压锚杆台车进行机械化锚杆作业，提高锚护作业的安全性、高效性。通过对自移联排支架、掘进机、除尘装置、锚护机械的性能、外形尺寸进行分析、改进，在狭窄的掘进工作面合理布置，结合理论分析，借鉴已有的生产工艺、地质条件，形成边掘边锚快速掘进成套技术及装备。并对工作设备自动控制进行应用设计。

3.构建了掘进机自适应快速截割系统，得到了截割参数与位姿对负载的影响规律，明确了掘进机截割头与摇臂的协同调速、调位机制。

4.运输系统快速移动技术，研究了皮带自贮技术，提出了转载机、控尘系统在皮带机上的“机拖式”布局，形成了伸缩式皮带输送系统，实现后配套设备的快速移动，保证掘进系统的快速性，运输系统的连续性。

5.控尘系统快速移动技术，研究了压风风筒自贮、自移装置，在高瓦斯等复杂地质条件下的高效控尘，保证供风、控尘系统的安全性、连续性、高效降尘。

（二）沿空留巷无煤柱开采技术

通过地面搅拌站搅拌干混料，井下加水制备混凝土拌合料，通过混凝土制备输送机组注入柔性模板内，形成连续、密闭的混凝土连续墙，在沿空留巷挡矸支架和巷道支护作用下，使留巷巷道保持稳定。同时将沿空留巷挡矸支架全部配备 SAC 电液控系统，融合到智能化薄煤层综采工作面中，现已在 021301 首采工作面应用成功，多回收煤炭资源 4.6 万吨，减少回采巷道 1270m。沿空留巷施工流程如图 2。

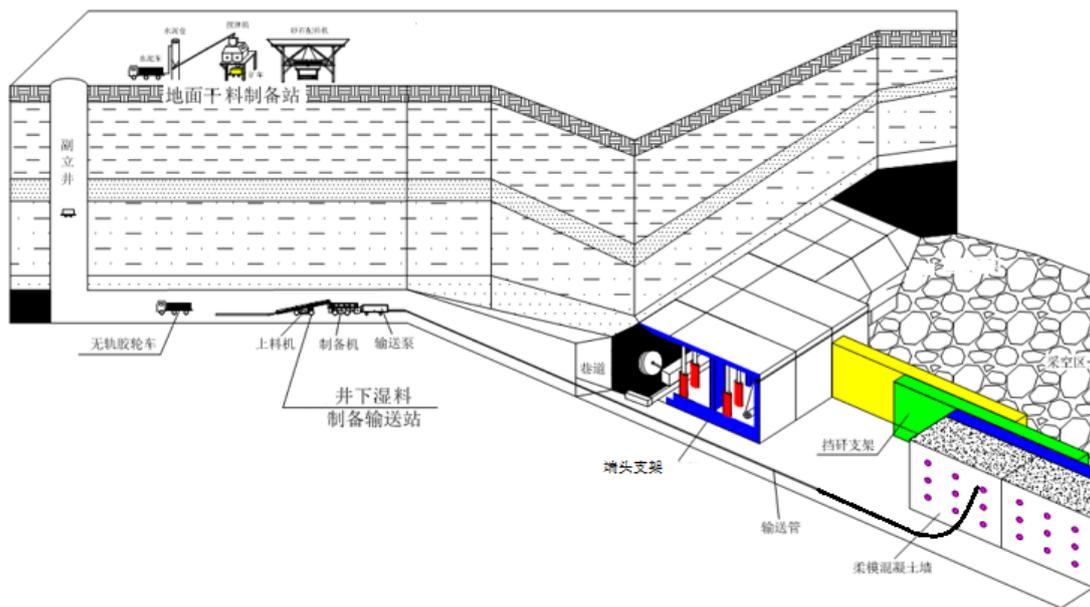


图 2 沿空留巷施工流程

（三）基于 Wi-Fi6 通讯综采工作面液压支架前探梁状态视频识别系统

采用基于 WI-FI6 通讯的视频识别系统，有效识别采煤机滚筒与支架顶梁位置关系，当滚筒接近顶梁时，及时闭锁采煤机，实现了工作面设备防碰撞功能，避免了采煤机滚筒误伤支架或损坏采煤机滚筒扭矩轴的事故发生。

（四）综采工作面上窜下滑在线测试及智能控制

利用激光测距、激光雷达等扫描、测量巷道三维立体信息，使用 MCU 配套处理器对激光雷达传感器的数字量反馈信号进行采集，并利用 MCU 编程，对存储的激光点云数据进行滤波、去噪、无缝拼接，拟合巷道凹凸曲面平整度模型，在初始位置测量激光雷达与两侧壁的距离，记录为 A, B。在采煤机推进过程中确定激光雷达传感器的实时位置，记录其与侧壁的实时距离为 a, b。与初始值比较得到上窜下滑的偏移量，同时记录两侧壁间的距离，用以排除两侧凹陷凸起的

影响。最终形成综采工作面上窜下滑偏移在线测试系统，实现巷道三维信息实时可视化。

设备产生上窜下滑偏移时，采用底调液压系统驱动液压支架调整偏移，在其调整综采工作面设备偏移的过程中，将调整结果发送给 MCU，经处理后得到可视化信息，从而保证对于上窜下滑偏移量的调整精度；控制系统通过检测底调液压缸的调整结果，并将其反馈给 MCU，形成可视化信息，并使上窜下滑偏移量归 0。

MCU 与激光雷达连接，矿用防爆显示器用来实现信息实时可视化，对整个系统进行控制监测。系统利用预留的 RS485 接口或者网络接口，经串口通讯协议或 TCP/IP 协议，向智能化采煤工作面总控制系统反馈，由总控制系统完成对综采工作面液压支架的控制调节，从而实现综采工作面上窜下滑智能控制。

三、智能化建设成效

根据快速掘进系统应用地点（13 上 2 煤）的地质特征，确定了快掘系统总体布局，所得应用效果表明，基于悬臂式掘进机的边掘边锚即掘锚平行作业的快速掘进技术，实现煤矿巷道掘进与锚杆支护平行作业即前掘后锚工艺，实现供风风筒的随动接续，保证出风口距工作面距离一直不变，到工作面的风量始终不变；同时实现掘、支、锚、运全机械化作业及高效除尘，保证小空顶距，不仅投入成本低，适应范围广，确保即割即护，满足安全要求。原综掘机掘进安排班次与快速掘进相同，每班平均 3.5m，一天 7m，使用快速掘进系统后每班平均 6m，一天 12m，功效提升 70%。边掘边锚快速掘进成套装备如图 3。



图 3 边掘边锚快速掘进成套装备

黄白茨煤矿薄煤层智能化工作面具备采煤机记忆截割、支架自动跟机、人员定位闭锁、远程集控和一键启停等功能。人员定位闭锁保护功能的实现有效保证了工作面工人的人身安全，避免了支架挤人、伤人等安全事故的发生。采煤机记忆截割功能在地质条件变化不大的情况下使用良好。割煤过程中，在煤层变化大及采煤机过煤空间小、过煤通道堵塞、自动跟机功能在顶板破碎严重的情况下需要人工进行干预。薄煤层智能化工作面的人工干预率不到 10%。

薄煤层智能化工作面每个生产班可从 15 人减少至 5 人，同时生产效率提高了 40%，经济效益突出。薄煤层工作面智能化开采技术可以提高开采效率、资源利用率，并且增加了薄煤层开采的可行性。薄煤层智能化设备的选型使用，使得工人劳动强度大幅降低，工作面安全生产效率显著提高，为煤矿安全高效生产创造了有利的条件。

案例 14 布尔台煤矿一次成巷高机动性快速掘进工作面

主要完成单位：国能神东煤炭集团有限责任公司

一、主要建设内容

由于国能神东煤炭公司布尔台煤矿地质条件复杂，支护量大，支护效率成了制约生产的最大因素，探索采用掘锚机+锚运破一体机+大跨距桥式装载机+机器人的一次成巷高机动性快速掘进新模式（图 1）。引进锚运破一体机取代履带式转载破碎机，在保留了履带式转载破碎机破碎和运输的基础上增加了锚护功能，支护效率成倍增加，完全实现了掘支平衡。由于支护效率的成倍增加，生产效率得到显著提升，为了解决桥式转载机行程对于生产效率的制约，引进大跨式桥式转载机，行程由以前的 30 米增加到 50 米，保证生产效率达到最大化。



图 1 快掘配套示意图

同时由于掘进效率的提升，我们通过在锚运破一体机机尾安装张拉绞车，每天通过绞车的收缩实现掘进工作面机尾自移。随着掘进效率的提升，掘进工作面的配套工程的工作量显著增加，工作人员的劳动强度大幅提升，针对以上问题，我们引进掏槽机器人和管路抓举机器人，机器人取代人工作业，不仅解放劳动力，工作效率得到显著提升。机械化设备的大批量应用，对于井下的安全生产提出了不小的挑战，引进人员接近防护系统，在锚运破一体机，掏槽机器人、管路抓举机器人安装人员接近防护系统，防止外来人员闯入作业区域，引发安全事故；

随着掘进工作面机械化设备的普及，安全和效率得到双提升。为了采掘设备的稳定运行，引进设备状态在线监测系统，通过采集胶带机、锚运破一体机电机减速器的温度振动情况，实时监测设备的运行状态，有效减少设备的故障率。在井下建立完善的视频监控系统，在锚运破一体机、掘进工作面、井下配电硐室、胶带机机头。胶带机卸载点安装高清摄像头实现掘进全方位监控。

建立掘进工作面集中控制系统（图 2），通过采集配电点移变馈电保护器的数据，实现配电点的远程控制，同时采集锚运破一体机、胶带机的数据，实现采掘设备的远程控制，从而实现采掘设备的可视化控制，在集控室安装 UPS 后备电源、声光报警装置、语音对讲装置实现集控室的大脑作用；同时建设区队地面集控室，实时监测井下要害节点的视频画面，同时每天进行地面风机远程切换，配电点远程停送电。由于掘进工作面支护过程中，胶带机一直处于空转状态，对能源形成了极大的浪费，通过改进胶带机控制逻辑，通过采集履带式转载破碎机的跨装信号，实时掌握工作面的出煤情况，实现胶带机的变频调速；在胶带机机尾安装金属探测仪，监测胶带机运行状态，遇到铁器停机报警，保障运输系统的稳定运行；在掘进工作面进水和出水安装流量计，通过数据采集，实现每天工作面用水量和工作面涌水量的统计，保障生产的稳定运行。



图 2 掘进集控室

二、技术特点及先进性

引进锚运破一体机（图 3），实现锚护、破碎、运输一体化功能，取代履带式转载破碎机，实现支护效率的成倍增加。同时采用全套国产化设备，实现自动一键打钻，实现支护工况监测，受煤料斗自动收缩等功能，实现掘支的高度平衡。



图3 锚运破一体机

引进掏槽机器人（图4）、管路抓举机器人（图5）取代人工作业。掘进工作面水泵窝一般都是人工手持风镐作业，不仅效率低，而且劳动强度大，危险系数高，引进掏槽机器人后，完全机械化作业，不仅解放劳动力，而且工作效率成倍增加。掘进工作面的管路安装不仅劳动强度大，而且费时费力，每天耗费了大量的人力物力，现在引进管路抓举机器人，不仅方便快捷，而且彻底解放劳动力。



图4 掏槽机器人



图 5 管路抓举机器人

胶带机变频调速，通过以太网采集掘进工作面连运的跨转信号，精确掌握工作面出煤时间；同时利用霍尔传感器采集胶带机的运行电流，精准判断胶带机带面上的煤量多少，经过合理的逻辑计算，胶带机变频器通过以太网与连运和胶带机的进行联动，实现胶带机的智能调速：当连运启动时，胶带机迅速提升至满速，保障胶带机的运输能力。连运停机后 120s，胶带机逐渐降速至满速的 75%。该小组通过采集胶带机电机的负载电流判断胶带机上是否有物料堆积，当负载电流达到额定电流的 70%判定为满载，胶带机不再降速，当电机负载电流降至额定电流的 50%之后，再延时 60s，此时胶带机自动降速，进而实现胶带机智能调速。同时，为避免连运试机时频繁启停对胶带机电机的冲击，在胶带机开机后 300s 内不检测其它触发信号和电流信号。

三、智能化建设成效

通过视频监控系统以及胶带机集中控制的常态化应用以来，取消了掘进中夜班的胶带机巡检工；引进管路抓举机器人、掏槽机器人、喷浆机器人、钻锚机器人等作业类机器人，不仅解放了劳动力，而且工作效率和工作面的机械化水平显著提升；引进掘进工作面自移机尾，由绞车的伸缩取代了采掘设备的拉拽，省去了退机清煤、栓大链等繁琐工序，省时省力；井下移动设备安装高清摄像机和人员接近防护系统，实现人员接近自动停机，有效保障了作业人员的安全，幸福矿工；引进锚运破一体机，增加锚护效率，掘进效率显著提升，人员收入得到大幅提升，矿工的幸福指数显著提升。

案例 15 鲍店煤矿记忆截割掘进工作面

主要完成单位：山东能源兖矿能源集团股份有限公司

一、主要建设内容

巷道掘进是保障矿井生产接续的先决条件，传统煤巷掘进存在煤流系统复杂、岗点占用人员多、支护效率低、施工工艺落后等诸多问题；加之，鲍店煤矿已建成投产36年，迎来自然减员高峰期，传统掘进工艺难以支撑矿井高质量发展。为保障职工生命安全，实现减人提效，鲍店煤矿与中煤科工集团太原煤科院开展深入合作，以胶轮车副巷工作面智能化掘进工作面为试点，重点围绕煤巷广泛使用的纵轴掘进机开展智能化研究，探索掘进智能化新技术、新工艺，全力打造了5G+智能化掘进安全高效生产新模式。

（一）优化工作面配套装备

选用DSJ100/63/2*110kW大功率胶带输送机，配套45kW同步永磁变频自动张紧和ZY1500/1000型遥控自移机尾，实现皮带自动张紧和机尾快速延伸。安装智能机器人，代替作业人员进行智能巡检，实现胶带机重点部位温度、巷道烟雾、甲烷浓度等数据实时监控；采用CMM2-21Z型自动双臂钻车，配合机载临时支护，最大程度实现锚网支护的自动化；配备KCG-500D型干式除尘风机，大幅降低工作面粉尘浓度。

（二）升级矿用 5G 专网系统

在矿井万兆主干环网基础上，装备使用由山东能源北斗天地公司自主研发，全球首套矿用高可靠 5G 专网系统，布置 1 台 5G 基站控制器和 3 台 5G 基站，实现巷道 5G 专网全覆盖。通过掘进机电控箱内置 5G 无线信号转换器，实现掘进机运行状态数据、机载传感器数据、工作面视频数据等信息实时传输到集控中心，平均网络延时 13ms；系统还备有 UPS 后备电源，可保证 4 小时以上应急供电，确保通讯传输稳定可靠。

（三）建设掘进设备远程操控平台

远程操控平台依托矿用 5G 专网系统，实现工作面掘进设备的远程集中通讯控制。主要由控制主机、4 台宽屏显示箱、嵌入式操作面板以及各类高清摄像仪等设备组成，能够实现掘进工作面各设备的自动化控制、视频监控和远程人机智能交互；平台还具有 3D 模拟仿真显示功能，根据传感器检测数据实时显示掘进机动作工况。通过远程操控平台，可以查看、修改、设置记忆截割参数，发送轨迹并启动远程自动记忆截割程序。

（四）实施掘进机智能化改造。

机身安装高精度传感器 12 个、高清摄像仪 4 个、惯性导航仪 1 台，用于环境感知和掘进机动作检测。通过悬臂、铲板、后支撑和机身各布置 1 个倾角传感器，实现机身姿态控制；悬臂布置 1 个位移传感器，实现悬臂伸缩控制；左右履带各布置 1 个转速传感器，实现行进控制；机身布置 4 个测距传感器，实现机身与两帮距离控制；回转机构布置 1 个角度传感器，实现截割臂左右摆角控制。惯性导航仪用于检测掘进机的偏航角、俯仰角和横滚角，进而控制巷道掘进的直线度。

（五）完善全轨迹记忆截割程序

建立截割系统专用坐标系，利用位姿解算软件实现截割头位姿数据和机身姿态数据融合，经控制单元计算出截割头实时位置，在误差范围内准确的实现截割头位置轨迹监测。将轨迹定位点由 12 个增加到 24 个，能够适应复杂截割条件，真实模拟记录截割全过程，实现全轨迹模拟。当现场条件发生变化时，可重新学习新轨迹并单独存储（最多可存储 5 条轨迹），从而实现掘进机记忆割煤的连续自动化。

（六）探索自动记忆截割新工艺

创新应用纵向截割工艺，替代传统的横向截割，有效避免横向截割掘进机摆动距离长反作用力矩大导致的机身偏移；将单次大步距进尺改为小步距多循环截割，大幅提升截割质量。针对截割断面进行轨迹优化，正常截割完成后，对巷道全断面进行一次全面修边，进一步提升掘进断面成型质量。以上各项工艺的改进，可以实现自动记忆截割功能的持续有效使用，大幅减少人为干预，真正做到了全

过程自动记忆截割。

二、技术特点及先进性

（一）割煤系统

通过掘进机加装倾角、行程、转速、测距等 12 个传感器，应用纵向截割工艺，实现了掘进无人、多循环、一次成型高质量全自动记忆截割，全国首家在纵轴掘进机智能化关键技术上取得新突破。

（二）支护系统

使用智能双臂钻车进行锚网支护，具备自动钻孔、遥控行进等功能。两部钻机同时作业，仅需 3 人就可以完成原 6 人施工的永久支护作业；岩石顶板支护单根锚杆作业的时间不超过 8 分钟，提升 30%施工效率。

（三）除尘系统

干式除尘风机与压入通风构成长压短抽的除尘系统，大幅降低了工作面粉尘浓度达 98%，有效改善了现场职工作业环境。

（四）运输系统

遥控自移机尾用于掘进机转载机与带式输送机机尾的快速推移和搭接，仅需 1 人即可实现机尾自移及调偏操作；使用自移机尾替代传统掘进机拉移机尾的生产工艺，巷道支护和机尾延伸可平行作业。

（五）视频监控系统

开发智能化掘进工作面视频画面拼接系统，投入使用高清宽光谱、红外摄像机，高粉尘复杂现场环境下，可清晰展示掘进机机身和周边环境，为实现远程精准操控奠定坚实基础。

三、智能化建设成效

（一）区域示范作用较为明显

鲍店煤矿率先建成“掘进机自动记忆截割”常态化运行的智能化掘进工作面，积累了大量可推广、可借鉴的经验做法，提高了掘进行业的智能化技术水平，更好的辐射带动了省内同类矿井智能化建设工作。

（二）系统集成功能显著增强

通过掘进设备远程操控平台，运用同步采样、信息建模、智能传感等技术，地面及井下集控中心实现对掘进设备运行参数动态监测、故障智能分析诊断、远程“一键启停”等功能。

（三）通讯保障能力明显改善

通过 5G+智能掘进技术应用，实现高可靠、低时延、广连接网络传输，精准做到对掘进工作面设备的实时远程控制和准确反馈，为煤炭行业 5G+掘进设备远程控制场景提供可靠保障。

（四）安全生产水平大幅提升

该套掘进智能化技术，显著提高了掘进工作面安全性、降低了工人劳动强度、保障了掘进效率和施工质量，实现了综掘工作面少人化作业，井下作业人员由原来的 9 人减至 5 人，切实保障了矿工健康和安全。

案例 16 小保当煤矿大断面煤巷护盾式快速掘进系统

主要完成单位：陕西小保当矿业有限公司

一、主要建设内容

国家高度重视煤矿智能化发展，2020 年 2 月 25 日国家发展改革委、国家能源局等八部委联合印发的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，明确了煤矿智能化的发展目标和主要任务，2021 年 6 月 5 日国家能源局、国家矿山安全监察局研究制定的《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》，进一步强化了这一观点。

我国 95%的煤矿采用井工开采方法，始终坚持“采掘并重，掘进先行”的方针。长期的煤炭开采实践使我们深刻认识到，煤矿智能化的核心就是要实现综采工作面和综掘工作面智能化。在煤炭人的共同努力下综采工作面智能化初见成效，而综掘工作面智能化严重滞后，导致“采掘失衡”，严重影响煤矿实现安全、高效、智能生产。

陕西小保当矿业公司公司以“高起点设计、高标准建设、高水平管理、高效能运作”的建设理念为指导，以“集群建设、统筹兼顾、协调一致，做到技术最先进、安全设施最完善、产能工效最领先、环境最友好、管理最集约，建设国家级现代化示范矿井，打造世界一流标杆煤炭企业”的建设目标为愿景，瞄准小保当煤矿大断面巷道掘进片帮与夹矸并存难题，剖析履带式掘锚成套装备应用效果不佳的原因，依据“安全、高效、绿色、智能”发展理念，集成掘进技术、机器人技术、人工智能技术、现代信息技术等，建立了国内首套 EBH270D 护盾式掘进机器人，对实现煤矿安全、高效、绿色、智能掘进具有极其重要的意义，加快了煤矿智能化建设。申请及授权专利 15 件，其中发明专利 8 件。针对小保当煤矿夹矸厚度大（0.8~2.1m）、硬度高（f5~f7）与片帮共存的快速智能掘进难题，首次提出了研发护盾式掘进机器人，其主要由截割机器人、临时支护机器人I和II、钻锚机器人、锚网运输机器人、运输与通风除尘系统和电液控平台等组成。

该研发成果解决了影响我国煤矿巷道掘进过程中的探、掘、支、锚、运、除

尘等系列工艺过程中存在的关键技术难题，尤其是掘进工作面巷道断面尺寸大、夹矸与片帮并存的智能掘进难题，使掘进中各环节有序、高效、通畅的衔接，提升掘进装备的开机率、掘进效率，改善工作面迎头的安全性，净化井下环境等，大幅降低巷道支护成本，形成煤矿巷道智能掘进机器人系统和技术体系，提升了小保当公司的核心竞争力。

该成果是集截割机器人、临时支护机器人、钻锚机器人、锚网运输机器人等多机器人于一体的智能成套装备，解决了智能掘进机器人系统与巷道围岩的耦合关系、多任务多机器人的并行协同控制、精准定位定向和定形等难题，有效提升了煤矿掘进装备和工艺水平，最大限度的解放生产力，推动煤炭实现安全、高效、绿色、智能生产。

该成果配备了超前探测设备，具备巷道成形质量与三维地质模型融合功能，能够基于巷道掘进过程揭露信息进行掘进工作面地质信息三维建模功能，模型自动更新。具有精确自主定位、自主定向导航功能，实现了智能定形截割功能。

该成果通过综合降尘的方式确保工作面的除尘工作，包括净化水幕降尘、巷道冲洗降尘、掘进机器人内外喷雾降尘、泡沫除尘、除尘风机降尘、湿式打眼等降尘方法，除尘效果良好。

该项目的研究方法和成果在小保当 1 号煤矿成功应用，平均月掘进 1050m，并创造了大断面巷道掘进单班支护 45m、单日最高进尺 56m 的掘进记录，掘进速度充分满足小保当一号煤矿采掘接续，形成陕北矿区高效、快速、智能化掘进的示范；为研究适用于关中、黄陵等矿区地质条件的煤矿智能掘进机器人系统提供科学依据和实用技术。目前，该项目成果正在铜川、彬长矿业等煤炭企业推广应用，对于有效解决采掘失衡问题，推进陕煤集团快速掘进技术向纵深发展、全面提升陕煤智能掘进整体水平，具有极为广阔的推广应用价值。

二、技术特点及先进性

根据掘进工艺及智能化掘进要求，研发了国内首套护盾式煤矿智能掘进机器人系统，该系统由截割机器人、临时支护机器人 I 和 II、钻锚机器人、锚网运输机器人、电液控平台以及运输通风除尘系统等组成。通过深入研究智能掘进系统

关键部位运动学和动力学特性，保证了掘进系统设计的可靠性。提出了智能掘进多机器人协同控制方法和智能导航控制方法，构建了“本地+近程+远程”的控制
系统架构，实现了“数据驱动+虚实同动”的智能掘进多机器人远程智能测控。主要技术创新包括：

1.提出了上下两层、前后两级的护盾式机体结构，克服了履带式掘进装备对复杂煤岩条件下的适应性难题，解决了临时支护、截割稳定性、平行作业等问题，实现了掘进机器人系统整机安全、可靠、高效运行。

2.建立了截割机器人与护盾式临时支护机器人之间的稳定性模型，研发了集成于护盾式临时支护机器人中的全宽横轴截割机器人，提高了截割的自适应性、稳定性和高效性。

3.提出了钻锚和锚网运输机器人并行协同控制方法，研发了集钻孔、锚固、护帮、运网、布网等功能于一体的钻锚和锚网运输机器人，提高了钻锚效率和可靠性。

4.构建了集“本地-近程-远程”控制的智能控制系统，研发了数字孪生驱动的远程虚拟测控系统，实现了掘进机器人系统自动截割、自主导航、多机协同与“人-机-环”安全预警（图 1、图 2、图 3）。

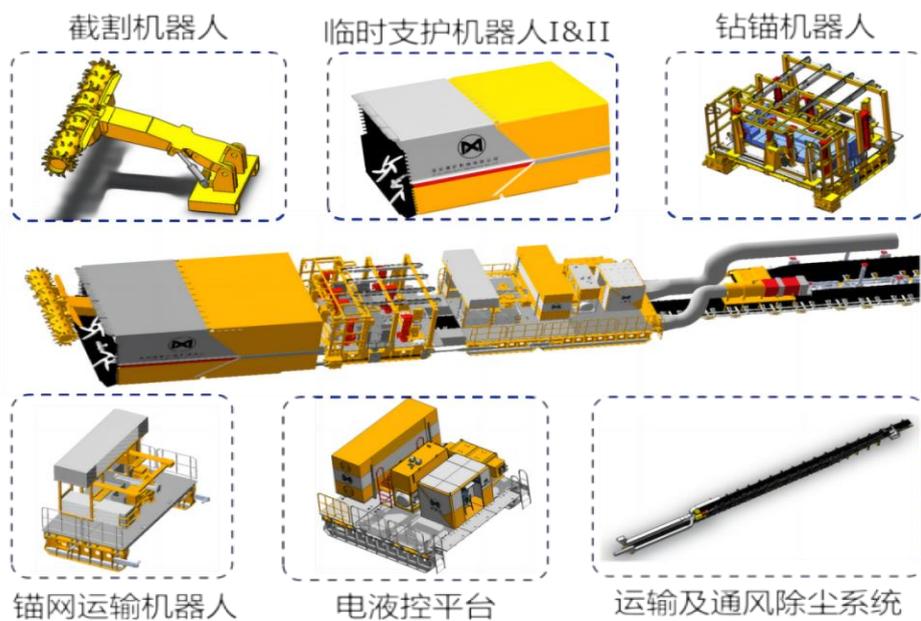


图 1 煤矿智能掘进机器人系统构成

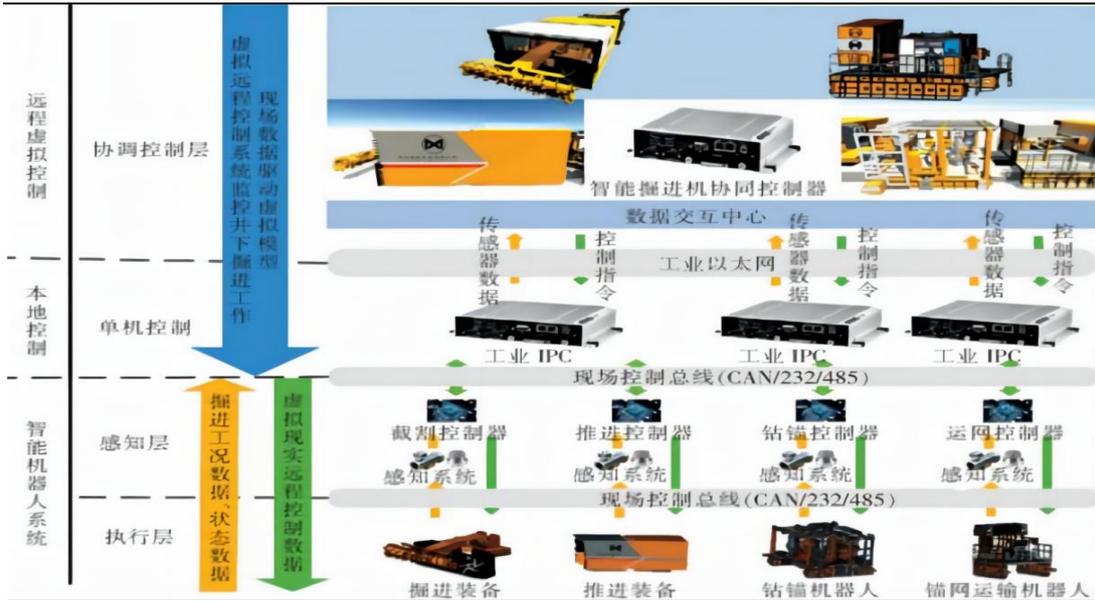


图2 智能控制系统架构



图3 掘进机器人远程虚拟测控平台

本项目研究成果形成了大型煤矿智能掘进新理念，对研发新一代智能掘进机器人系统，全面提升大型煤矿掘进装备和工艺水平，最大限度的解放生产力，确保巷道掘进的“安全、高效、绿色、智能”具有极其重要的意义；同时，形成了一整套煤矿智能掘进机器人技术的自有知识产权，带来了显著的经济效益和社会效益。

三、智能化建设成效

该项目于2020年9月进行了现场工业性实验，通过了0.8~2.1m厚的夹矸严酷地质条件考验，日进尺突破56m，掘进工作面操作人员由18人减少到8人。经综合计算，应用后新增产值9436.7万元，新增利润4897.6万元，新增税收

1226.8 万元。大幅提升了巷道掘进效率，有效解决了片帮与夹矸并存复杂地质条件下的采掘失衡问题，确保了矿井安全、高效、智能生产。

护盾式掘进机器人主要社会价值包括：

1.改善掘进工作面人员环境，降低工人劳动强度和减少掘进工作面人员，保证了掘进工作面操作人员的安全。

2.解决智能快速掘进难题，培养了一批智能掘进人才，形成了榆北大断面智能快速掘进技术体系。

3.响应国家煤矿智能化号召，引领煤矿智能掘进技术发展，对促进煤矿智能化掘进技术发展具有重要作用，社会意义巨大，符合国家煤矿智能化建设的要求。

4.社会影响不断扩大，自发布以来得到社会各界的广泛关注和高度评价。

5.知识产权成效显著。本项目现已申请及授权专利 10 余件，其中发明专利 4 件，发表学术论文 10 篇。

案例 17 大柳塔煤矿 5G+连采机器人协同作业系统

主要完成单位：国能神东煤炭集团有限责任公司

一、主要建设内容

国能神东煤炭集团大柳塔煤矿利用矿井优势条件为智能化建设搭建发展平台，让智能化为矿井高产高效提供硬件支撑，成为煤矿安全、高效生产的“护身符”。根据《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》井工煤矿智能化建设目标，大柳塔煤矿通过 5G 通讯网络实现连采机、锚杆机、破碎机、卷缆车的集中监控，与胶带机、局部通风机、供配电设备在同一平台实现协同作业，连采机远程控制、自主割煤、人工干预的生产方式，锚杆机自动钻锚、自动间距定位、自动行走与排距定位功能，卷缆车与连采机无缝对接，大柳塔煤矿连采三队 52508 掘进工作面实现了减人提效和远程控制目标，形成了完整的一套掘进智能化技术体系。

主要做法如下：

1.部署掘进工作面 5G 通讯网络。设计 5G 无线通讯系统，系统主要由地面的 5G 核心网设备（5GC）、地面操控中心、KT606-K(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））、KT606-F(5G)矿用隔爆兼本安型无线基站（微型射频拉远单元（pRRU））、KZC127(5G)矿用隔爆兼本安型信号转换器（CPE）、KT606-S1(5G)矿用本安型手机和连采机设备产品构成。

2.部署工作面集控中心协同连采机智能化作业。部署工作面集控中心（图 1），借助 5G 无线通信技术，采用传感器实时采集并显示连采机运行参数、工作状态等信息，工作人员通过视频、监控软件所提供的信息，从工作面撤离至离工作面较远的安全区域进行自动截割作业。

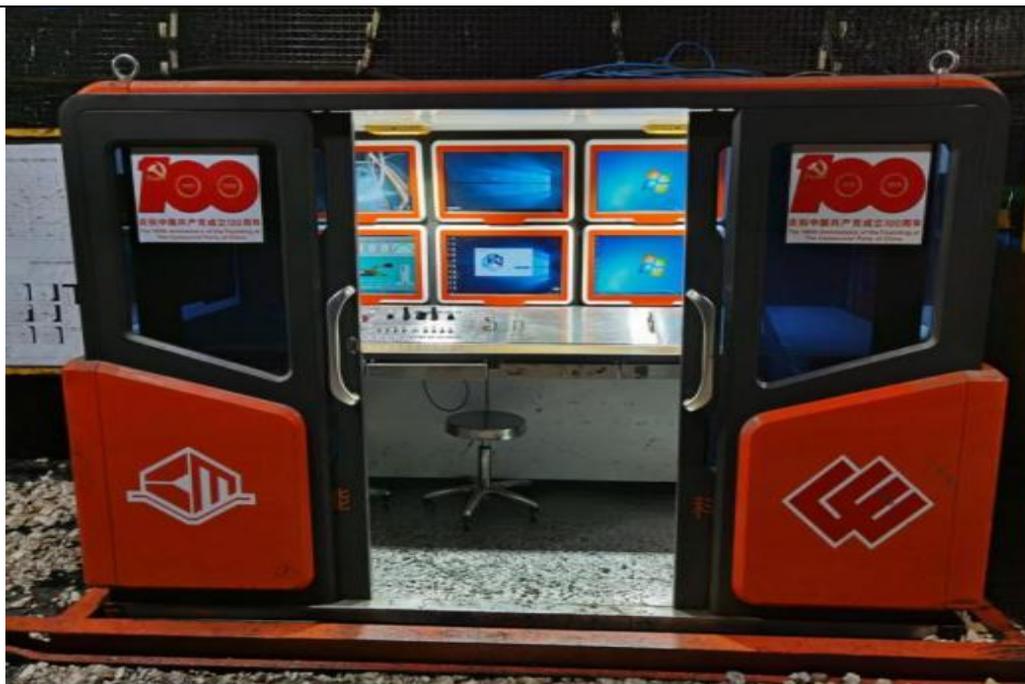


图1 工作面集控中心

3.部署地面分控中心协同井下分控中心协同作业。通过工业以太网将工作面集控中心数据传送至地面数据中心，工作人员可控制距离地面 14 公里的井下智能连采机远程记忆截割、定位截割、自主截割控制模式，完全摆脱作业人员强度大、风险高、条件差的作业环境，能够真正地将作业人员从井下艰苦复杂的环境中解放出来，作业人员坐在地面分控中心就能实现对井下生产的全过程干预及控制（图 2）。



图2 地面分控中心

4.智能化连采机控制系统协同智能化作业。结合惯导系统提供的连采机位置和姿态信息，控制系统主要实现的连采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，以实时获取的连采机的航向角信息为测量输入量，采用 PID 算法控制两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；截割控制目前结合煤矿截割工艺和连采机司机建议，采用 13 步截割法；调机控制采用了“N×V 型”调机法，通过连采机的旋转、退机、前进等组合操作，实现连采机平移。智能化连采机控制系统协同智能化作业技术方案如图 3。

5.配套自动卷缆车协同连采机作业

自动卷缆车用于掘锚机、掘进机等设备进线电缆收放工作，具备电缆无人收放和定位激光仪自动跟踪、校准功能。通过替换连采机跟机电缆，使用内部 4 芯控制线载波通信，实现连采机与自动卷缆车通讯，连采机 PLC 控制箱采集卷缆车信号，通过跟机电缆 4 芯控制线接入连采机馈电开关并进入工业环网，完成跟机电缆自动收放。

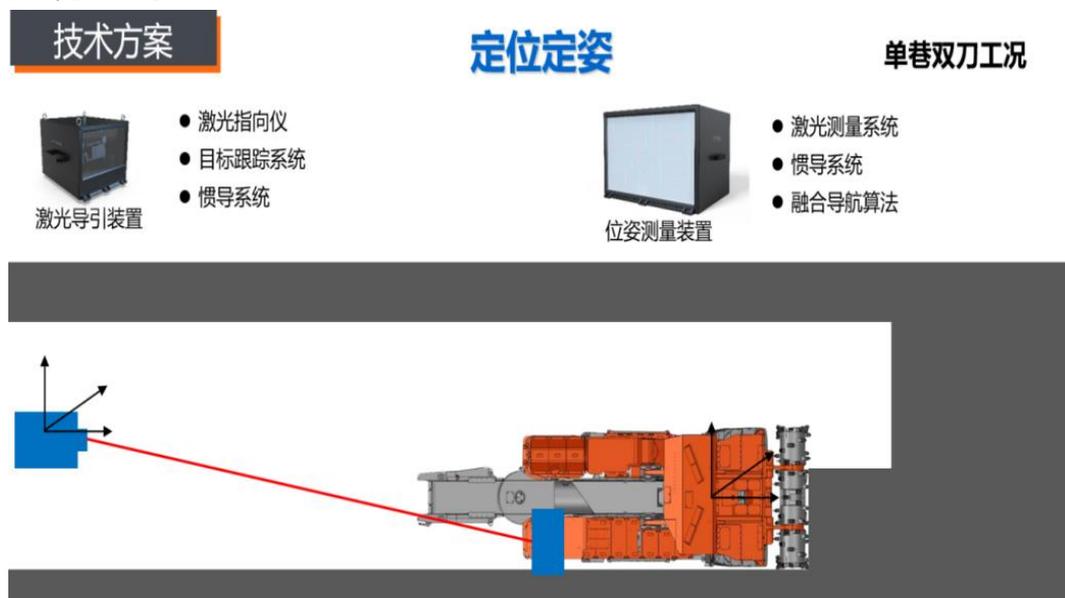


图 3 智能化连采机控制系统协同智能化作业技术方案

6.智能化连采机定位定姿系统协同连采机智能化作业

采用惯性导航+激光导引的方式实现连采机定姿定位，惯性导航安装于连采机，激光导引安装于自动卷缆车，两者互为基准，连续测量，实现连采机和自动

卷缆车定位定姿定向功能，激光导引装置实时追踪定位连采机，组合惯导系统实时提供精确的角度和位置，包括航向角、俯仰角、横滚角以及连采机在巷道 xyz 坐标，为自动控制提供位置基础。

7.连采机与梭车协同作业

梭车驾驶室安装控制器并自带通讯天线功能，连采机驾驶室安装基站，两者互相接收，利用无线 WiFi 技术实现梭车选择性控制连采机运输机尾的启停和姿态。

二、技术特点及先进性

1.基于“惯性导航”关键技术实现连采机姿态控制，辅以激光导引和视觉识别等技术，实时修正累计误差，通过对“三角、三标”的控制，将连采机控制在标准航线内；利用无线 WiFi 技术实现梭与连采机协同作业。

2.负载敏感自适应技术可根据负载情况自主调节进刀深度、截割速度等参数，实现与现有采掘工艺完美契合。

3.基于采高、振动、电流、视频等多传感器检测数据，运用合理算法辅助煤岩分界识别，进行顶底板控制。

4.应用 5G 无线传输技术，确保了传输的可靠性和稳定性，实现了传输视频画面，远程操控无延时。

5.利用惯性导航技术实现连采机定位、定姿，利用激光导引技术与惯性导航互为基准，连续测量，实现卷缆车自动收放缆线距离。

6.采用红外线原理，增设时间继电器实现破碎机与梭车协同作业；利用红外发射原理实现破碎机与梭车协同作业。

7.利用 5G 无线通讯技术实现连采机全方位跟机视频监控，跟机视频既有客户端又有网页版，即能在井下集控中心监控也能在地面分控中心监控。

8.利用胶带输送机空载可控停机原理和特点实现可视化管理。掘进工作面胶带输送机空载可视可控自动化管理系统成功将胶带机运行过程中的“人、机、环、管”数据信息相融合，利用自动化数据挖掘技术，实现掘进工作面胶带输送机空载运行可视化管理。

三、智能化建设成效

基于 5G 技术连采机器人智能控制及自动化协同作业系统应用，通过掘进工作面 5G 通讯网络、工作面集控中心协同连采机智能化作业、地面分控中心协同井下分控中心协同作业、智能化连采机控制系统协同智能化作业、配套自动卷缆车协同连采机作业、智能化连采机定位定姿系统协同连采机智能化作业技术手段，将作业人员从危险恶劣的环境中解放出来，远离煤矿“五大”灾害，免受粉尘、噪音等职业病侵害，实现远程自动割煤。实现工作面生产区域无人化，为传统掘进系统实现智能化积累了宝贵的实践经验；连采机全方位跟机视频监控使煤机司机在生产过程中全方位、零死角、高清晰监控，以达到身临其境的感觉，保证煤机在生产中更智能、更高效、更安全地运行；胶带运集中控制及空载可视可控管理减少设备损坏和节约设备电耗，促进了掘进工作面不断向自动化安全高效发展。

案例 18 曹家滩煤矿大断面智能快速掘进工作面

主要完成单位：陕西陕煤曹家滩矿业有限公司

一、主要建设内容

曹家滩煤矿作为特大型现代化智慧煤矿，如何实现大断面煤巷的快速掘进，成为曹家滩煤矿亟待解决的主要问题。为解决上述问题，曹家滩公司成立科研专班，与科研单位及院校合作，开展煤巷大断面快速掘进研究。研究具有适用性煤巷快速掘进顶板稳定性机理及主要影响因素，形成基于顶板稳定性的成套支护理论和技术，选择安全有效的支护方法；同时分析影响快速掘进的因素，对掘支各工艺、全要素、全时段关键流程判别，优化制约煤巷掘进速度的瓶颈，确定“以掘定支、掘支平行”为准则的施工工艺及劳动组织。

二、技术特点及先进性

针对大断面煤巷快速掘锚成套装备的运行效果，构建以人机协同、掘支同步的智能化信息化装备创新为硬件，以减量提质、强帮护顶高强度、高刚度围岩控制技术创新为理念，以空间交叉、掘支平行高匹配高融合精细卓越施工工艺创新为抓手，以实时实地、由表及里全方位高质量安全创新监测系统架构为保障，充分体现思维方式、技术、装备、工艺、安全管理现代化与创新。

（一）思路创新

快掘装备初期引进的失败经验，揭示了地质条件对工业性试验的重要性，要想取得试验的阶段成果，在地质条件的选择上一定要从简单到复杂，由单一到全面。曹家滩煤矿主采 2⁻² 煤层，属于稳定型厚煤层，平均埋深 286m，矿井地质结构简单，取得成功后再逐步向相似条件、复杂条件及不同工艺的矿井推广。

（二）装备创新

结合曹家滩煤矿地质条件及掘锚机组运行情况，全方位优化了设备结构和性能，对自动化锚护系统、自移式连续运输机、记忆式自适应截割系统、可视化远程操控系统、隔绝式全覆盖立体除尘、机身姿态自纠系统、动态感知安全防护系

统、组合式精准定位系统、超前钻探等方面进行了十大类 102 项改造。优化提升后的快掘装备具备大断面巷道“探、掘、支、运”一次成巷、可伸缩式超大宽度截割控制、大断面快速支护与超前钻探、物料输送、多机协同控制等功能，最终实现掘进、支护和运输一体化连续作业，大幅提高掘进效率。

1. 智能化快掘装备

（1）快掘 3.0 成套装备

曹家滩煤矿与科研单位、装备制造厂家合作，结合自身地质条件，研发了“掘锚一体机+煤矿用锚杆钻车+自移式超远距离胶带输送机”快掘成套装备（图 1）。在保证快掘的前提下增加智能控制功能，实现了精准定位、自主导航、超前钻探、智能截割、自动支护、连续转载、故障自诊、远程集控，将掘进工作面作业人数减少至 7~9 人，在“少人则安”理念的基础上实现了掘进工作面的智能化生产。



图 1 掘锚成套装备整体示意图

（2）快掘 4.0 成套装备

快掘 4.0 成套装备包括掘锚一体机、锚杆转载机、智能连续运输系统、除尘系统、集控中心以及物料配送机器人等 6 大模块（图 2、图 3）。其快掘工艺是在快掘 3.0 成套装备的基础上研发新型掘锚一体机，适应巷道宽度 6.6m，巷道高度 5.5m。增加物料输送系统，可将锚护物料运送至掘锚机机尾，并将物料举升至离地 3m 处。增加多模式通风除尘系统，通过机载高效湿式除尘技术和泡沫除尘技术相结合，有效降低工作面煤尘。研发新型喷涂材料，告别传统锚网支护技术，大大降低了工人劳动强度。



图2 快掘4.0成套装备整体示意图



图3 快掘4.0成套装备联调

2. 辅助保障装备

(1) 防爆柴油机滑模混凝土摊铺机

配套了防爆柴油机滑模混凝土摊铺机+防爆混凝土输送罐车施工巷道混凝土地板（图4）。滑模摊铺机安装的传感器测定巷道基线信号传输到控制器，控制器控制整机动力部件按照基线滑模施工。采用持续补料、振动棒提浆密实、抹平板成型的智能化施工工艺，日均施工混凝土地板200m以上。



图4 混凝土摊铺机

（2）煤矿用巷道修复机

配套了煤矿巷道修复机（图5），解决了遗煤影响拉移机尾和巷道清理问题，减少了辅助作业人员，降低了劳动强度。



图5 煤矿用巷道修复机

（3）防爆柴油机履带运输车

配套了防爆柴油机履带运输车（图6），解决了窄型顺槽、快速掘进工作面等受限空间内锚护材料、散装物料及小型机电设备的运输问题，减少了辅助作业人员，降低了劳动强度。



图 6 防爆柴油机履带运输车

（三）工艺创新

研究巷道快速成巷理论与工艺技术，突破新型钻锚预紧一体化锚杆、“一键打锚杆”、高效喷涂等关键技术与材料，研发巷道变形实时监测技术，研发新型掘锚一体机、运输、控制等先进技术与装备，形成领先的集理论、设计、材料、技术、装备于一体的快速掘进成套技术与装备，引领快速掘进发展方向。

三、智能化建设成效

（一）安全效益

1. “少人则安”的本质安全型掘进工作面。智能快速掘锚成套装备通过配备机械手、智能材料库、一体化中空树脂锚杆、自动探放水设备、远程操作台、高效喷涂等设备实现掘进智能化工艺。作业人数由 15 人减少至 7~9 人，打造了“少人则安”的本质安全型掘进工作面。

2. 现场安全管理全覆盖。机身配备了临时支护护盾，永久支护紧跟临时支护，从根本上杜绝了空顶作业；左右机身侧均安装了大空间高作业平台，平台与煤壁加装了防砸挡板，杜绝了片帮煤从高空坠落对人员伤害；侧翼安装自动报警系统，设备运行期间人员靠近时，系统自动报警停机，保证了人员安全；截割大臂前配备了自动超长钻探，实现了水患的有效预警。

（二）经济效益

巷道掘进速度由传统施工工艺的月均进尺 500m 提升至 2020m 以上，每月增加近 4 万 t 掘进煤量；同时快速掘进技术的应用将传统成巷周期由 10 个月缩

短到 4 个月，采煤工作面巷道形成周期缩短了 60%，大幅度降低了掘巷周期和巷道维护费用，具有广阔的推广应用前景和经济效益。

（三）社会效益

1. 解决了采掘失衡难题

积累了大量的快速掘进巷道围岩支护参数优化、掘锚成套装备优化、工艺优化及施工组织优化经验，锻炼了一大批经验丰富的技术管理人员和成熟的快速掘进施工人员，形成了大断面快速掘进技术体系，大幅度提高了巷道掘进速度，解决了矿井采掘失衡的难题，为矿井高质量发展奠定基础。

2. 打造行业标杆，成为行业典范

2020 年 11 月 26 日，在曹家滩煤矿召开了全国煤矿快速掘进现场推进会。参会代表对曹家滩煤矿大断面快掘建设成果给予了充分肯定。国家能源集团、山东能源集团、延长石油集团、徐矿集团等先进煤炭企业先后派学习组来公司对标学习。中国煤炭报、中国能源报、中国化工报、陕西日报、榆林日报、新浪新闻等媒体对曹家滩公司快掘系统进行了报道。

案例 19 隆德煤矿 5G+智能连掘系统

主要完成单位：神木县隆德矿业有限责任公司

一、主要建设内容

隆德煤矿 5G+智能连掘系统建设对连续采煤机、梭车、破碎机、带式输送机等设备控制系统进行升级，实现连续采煤机远程可视化智能控制、高精度定向、多参数感知、一键启动、自适应截割、自主移机、自动掘进、状态监测与故障预判的功能，梭车自主装、运、卸，锚杆钻车、破碎机、输送机集中监控等功能。运用 5G 网络传输技术，使得全套设备具备井巷掘进作业集中控制、视频监控、远程干预功能，以降低人员的劳动强度，改善作业环境，提高工作安全性。实现以连采机为核心装备的掘进工作面的智能化，解决制约巷道掘进无人化、智能化的关键性难题，补齐矿井的无人化和智能化的“短板”，为智能化矿井建设提供基础支撑。

系统主要包括井下 5G 核心网的搭建，进口设备电气控制系统国产化升级改造，连采机、梭车、破碎机之间的顺序联动作业。具体如下：

（一）5G 核心网建设

掘进工作面多设备智能化运行离不开高速、可靠稳定的信息网络，连采机、梭车、锚杆钻车、破碎机、输送机、供电、通风、供排水等多系统均需要通过可靠网络建立数据传输通道进入统一的协同平台。掘进工作面设备位置不确定，尤其是连续采煤机、梭车均为移动设备。远程视频监控、人工干预、智能化控制、参数设定等功能的实现都需要高速稳定的数据传输网络。连采机、梭车、锚杆钻车等频繁移动设备优先考虑无线网络，因此本系统采用了 5G 无线网络进行传输，以满足数据量和实时性的要求，根据项目目标需要，配置了 5G 无线网络。在矿端布置 5G 核心网，5G 无线网络传输上下行带宽不低于 200M，井下重点区域覆盖，根据连采工作面特点，在连采双巷掘进的工作面布置 5G 基站，1000M 的工业以太环网，控制延迟小于 50 ms，以满足连采机、梭车等设备的高速率大流量

传输，实现井下和地面调度指挥中心远程控制系统互联互通。

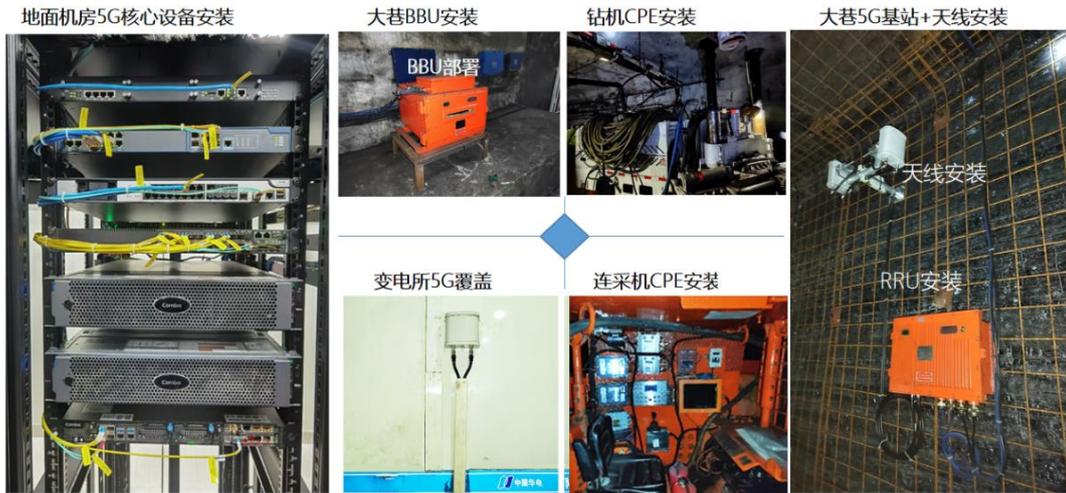


图 1 井下安装示意图

（二）掘进工作面系统建设

隆德煤矿主要对久益 12CM15-10D 型进口连续采煤机、久益 10SC32-48B 型进口梭车、山西天地煤机 PZL460/150 型履带式转载破碎机等设备电气控制系统进行国产化升级改造，兼容原机外接设备，实现远程集中控制、可视化监视、一键启停、自主生产、人工干预，梭车自主装、运、卸，锚杆钻车、破碎机等功能融合。

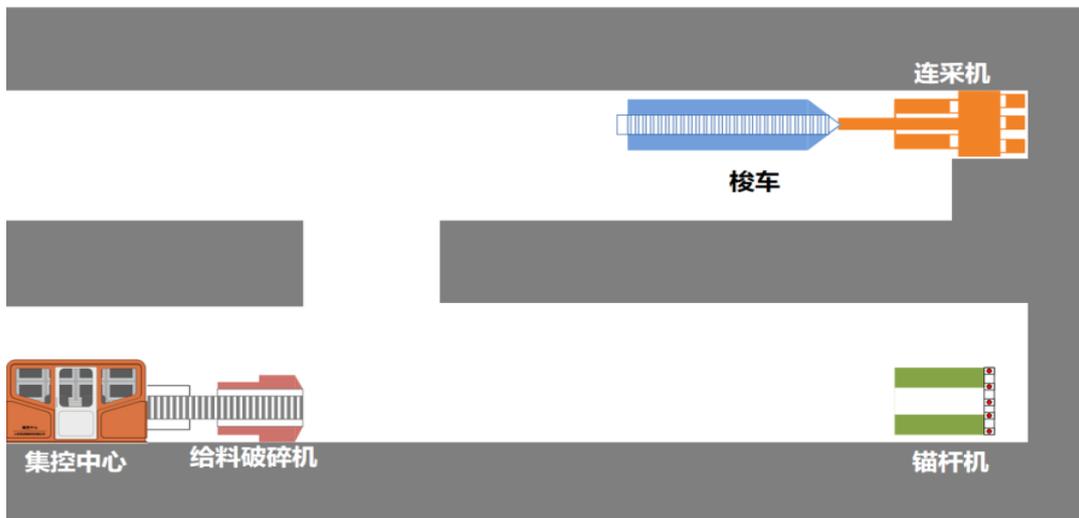


图 2 系统配套装备示意图

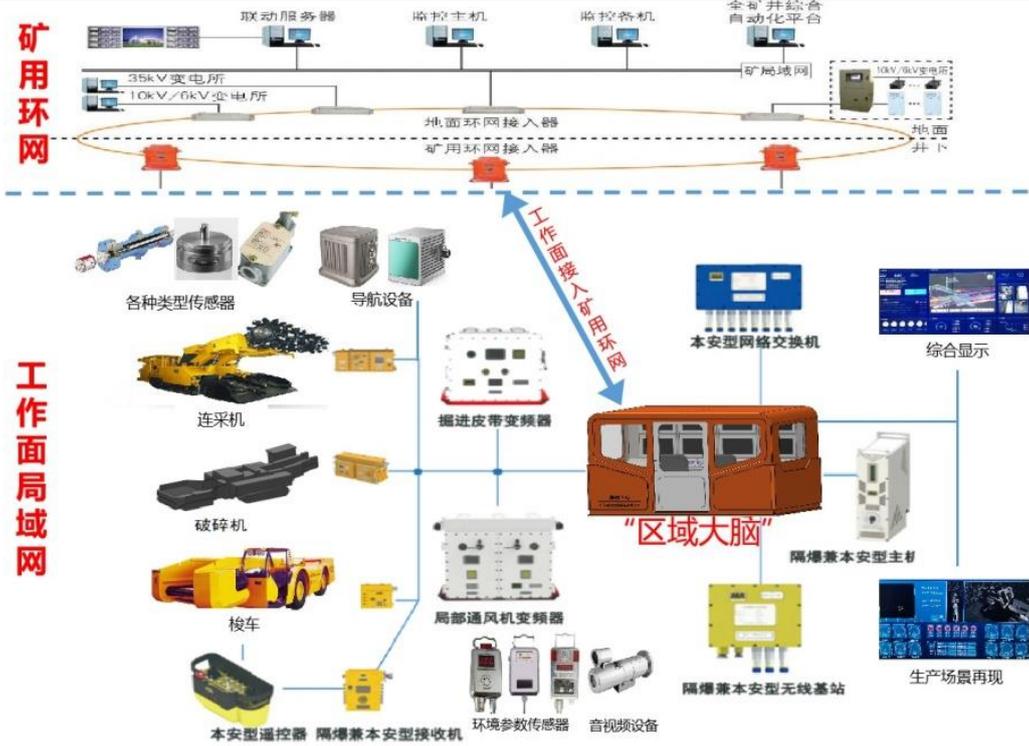


图 3 掘进工作面系统示意图

(三) 连续采煤机智能化功能

基于智能化功能需要，需要对电气控制系统功能进行国产化替换升级，电机和液压系统采用原机配置，此外，还根据需要增设智能化控制的中央控制器、组合惯导系统、行走手柄、声光报警器、摄像仪、倾角传感器、角度传感器等其它外接设备。

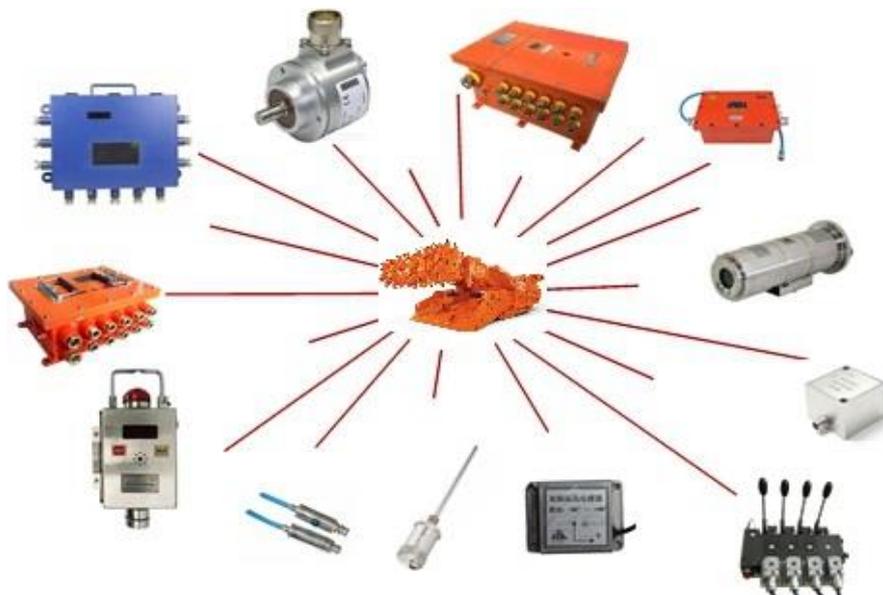


图 4 电气系统外设示意图

矿用隔爆兼本安型中央控制器是连续采煤机机器人化的核心设备之一，主要

实现掘进机数据采集、自适应截割、自主移机、煤岩分界探测识别等核心控制功能。

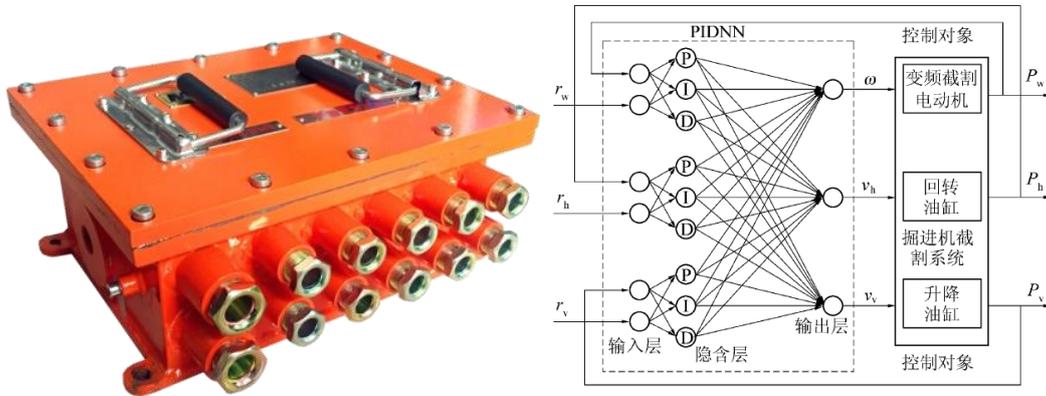


图 5 中央控制器

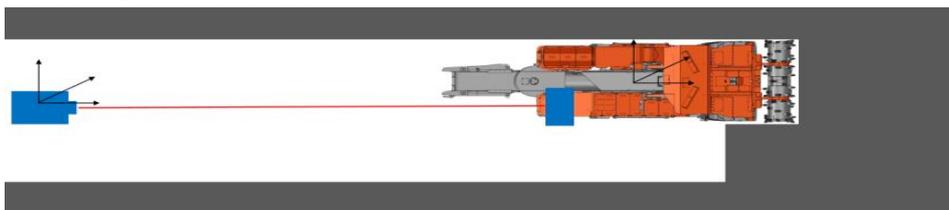
组合惯导测量系统包括激光跟踪导引装置和惯性位姿测量与导航装置两部分，结合激光高精度惯性导航技术、激光测量技术、图像识别技术、组合导航技术、无线通信技术、多元信息融合技术，开发使用于煤矿井下设备定向、定位、定姿测量产品。

通过特定算法克服传统惯导产品在井下无外接辅助输入信息条件下测量误差的关键问题，同时解决煤矿机械井下侧滑、振动、冲击等恶劣工况条件下的精准定位和测量问题。图 6 为组合惯导位姿测量系统中的激光跟踪导引装置和惯性位姿测量与导航装置。



图 6 组合惯导位姿测量系统

通过激光跟踪导引装置对连采机进行实时跟踪和精确定位，精准测量连续采煤机的航向、姿态和位置信息。



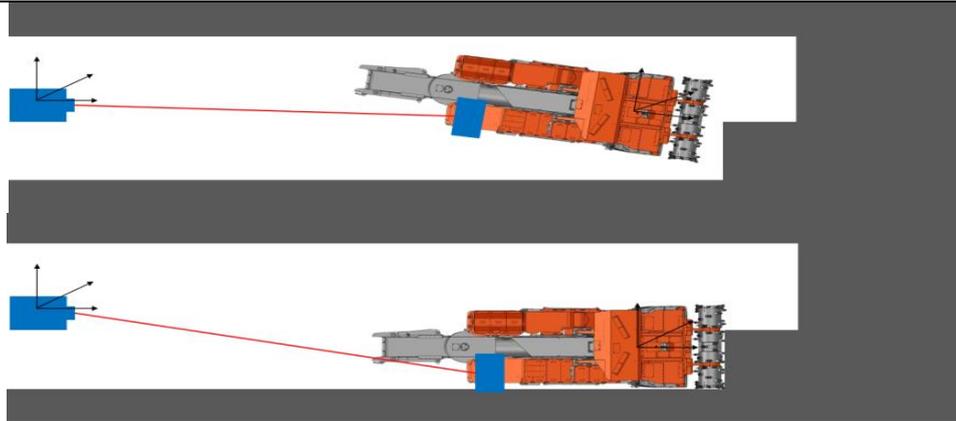


图 7 激光跟踪导引示意图

（四）梭车智能化功能

基于智能化功能需要，对梭车电气控制系统、转向系统、牵引系统、制动系统进行升级。增设中央控制器、惯性导航装置、激光雷达扫描系统、操作箱、脚踏开关、声光报警器、摄像仪、速度传感器、角度传感器等其它外接电气件。中央控制器是梭车智能化系统的控制中心，自主运行所涉及的传感器全部接入该控制器，完成相应的功能。

为实施梭车自主装运卸功能，需要增设定位定姿及自主导航系统，该系统包含巷道建模及位姿测量系统、轨迹规划及自主导航系统两部分，分别如下：

通过“高精度惯性导航装置+激光雷达”的组合测量系统对巷道实时扫描，建立透明三维工作面。以 SLAM 技术为基础，依靠惯导精准的航向、俯仰和横滚角度测量以及特定算法，进行地图匹配，进而获得梭车精确的姿态和位置。图 8 为巷道建模示意图。

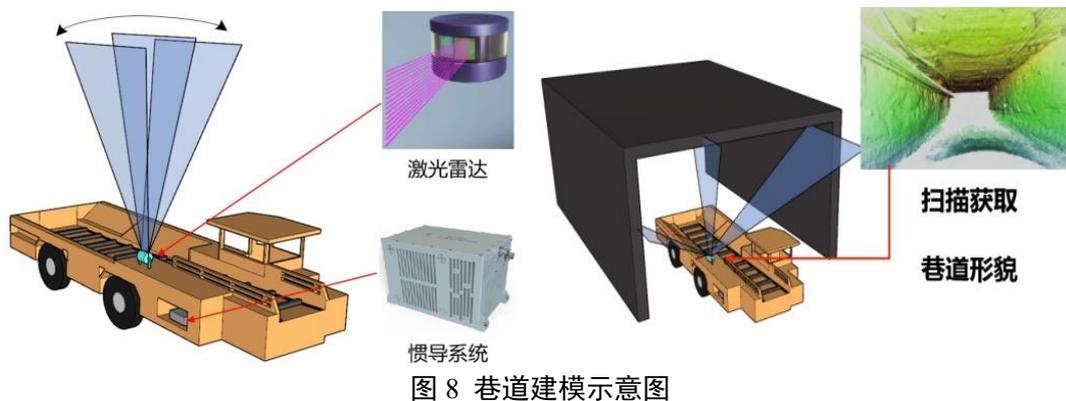


图 8 巷道建模示意图

基于巷道三维地图以及位姿信息的指引，对梭车进行轨迹规划，设计相应的控制策略，实现自主导航，结合转向、速度等精确控制，实现梭车自主运行。配

置前后向雷达，能够有效的对连采机和梭车进行识别，进行自动对接，实现自动装、运、卸功能。同时配置前、后向及料仓摄像仪，可以远程对梭车周围环境及物料情况进行监视，以便人工干预。

（五）给料破碎机智能化功能

基于自动控制的需要，对给料破碎机本机控制系统进行升级，提供 AC127V 电源，增加自动启停泵站功能，与梭车智能化联动闭锁，其余功能保留不变。针对遥控控制的需要，升级液压系统，实现电液控制履带行走，方便延伸皮带时操作设备。配置遥控装置，实现破碎机的部分遥控功能。

（六）工作面集控中心

工作面集控中心是全工作面设备的综合监控中心，是工作面的数据中枢，是各设备协同作业、远程控制和人工干预的平台。接入设备涵盖连采机、梭车、锚杆钻机、破碎机、输送机以及供电、通风、瓦斯等；集设备控制、参数设置、状态显示、音视频监控、网络传输、对话交互等功能于一体。此外，考虑掘进工作面粉尘较大，集控中心设置空气过滤系统，以改善工作人员作业环境。



图 9 集控中心示意图

二、关键技术及先进性

（一）基于 5G 技术的大带宽、低时延、高可靠、移动连接、大连接的特点，轻量化核心网：具有易部署、易操作、易维护等特点。

（二）组合惯性导航技术

由于惯性导航技术具有不需要外界辅助信息的特性，在航空、航天、航海等军事领域得到了广泛的应用。而煤矿井下设备的实际工况，不具备 GPS 的定位条件和加速度计的应用环境，可借助的外界辅助信息也非常有限，因此非常适合

惯性导航这种独立导航的技术应用。

惯性导航系统是一种不依赖于外部信息、也不向外部辐射能量的自主式导航系统。其基本工作原理是通过测量载体在惯性参考系的加速度，将它对时间进行积分，且把它变换到导航坐标系中，就能够得到在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。

结合高精度惯性导航技术、激光测量技术、图像识别技术、组合导航技术、无线通信技术、多元信息融合技术，通过特定算法克服传统惯导产品在井下无外接辅助输入信息条件下测量误差的关键问题，同时解决煤矿机械井下侧滑、振动、冲击等恶劣工况条件下的精准定位和测量问题。

提出利用组合惯性导航技术，解决单纯惯性导航累计误差和航向漂移的难题。

（三）连采机自动控制技术

目前连采机控制采用本机或视距遥控的方式实现机械化生产，不具有任何自动控制功能，自动化程度低。对连采机控制系统进行研究，设计自动控制策略和软件，实现连采机的自动掘进、自主移机、自动扫帮等智能控制功能。

（四）负载敏感自适应技术

目前连采机完全由人工操作，司机根据负载变化实时调整截割负载，以免设备过载或引起前级开关保护跳闸。

通过负载识别算法，使连采机具有了自学习功能，能够学习并模拟人的主观能动性，可以很好的适应环境。对截割负载、截割速度等参数进行 PID 匹配，实现恒功率截割。具有自主判断识别、自适应巷道起伏、煤层变化、煤岩分界、岩层硬度变化等各种工况。

（五）协同作业控制技术

连采机与梭车的运输联动配合完全依靠连采机司机和梭车司机通过喊话、灯光等原始手段进行协调，两设备之间不具有自动协同控制的功能。

对连采机与梭车的配合作业的工艺进行分析，设计协同作业控制策略及控制软件，实现系统高效作业。

（六）梭车自主装、运、卸技术

实现自主导航，结合转向、速度等精确控制，实现梭车自主运行，配置前后向雷达，对连采机和梭车进行识别，二者自动对接，实现自动装、运、卸功能，同时配置前、后向及料仓摄像仪，可以远程对梭车周围环境及物料情况进行监视，以便人工干预。

三、智能化建设成效

该案例的应用，实现了生产管控一体化，解决了掘进工作面有线传输的难题，实现了连续采煤机和梭车的远程控制、可视化监视、一键启停、人工干预等多种功能，具体建设成效如下：

一是减人增安方面，减少了工作面固定岗位工，提高了工作面的安全系数和掘进效率，降低工作面人员劳动强度，达到了减人提效的目的。系统建成之前，每班至少需要作业人员 4 人操作（一名连采机司机，一名破碎机岗位司机，一名梭车司机，一名拖曳电缆工人，一人安全监护）。系统建成后，只需 2 人操作（一人操作控制台，一人安全监护）。人工费以 15 万元/人·年算，两个生产班每年减少的费用大约 60 万元。

二是提质增效方面，改变了矿井掘进的生产模式，真正让掘进智能化与矿井信息化无缝连接，显著提高了矿井掘进工作面设备的自动化程度。系统建成后，设备运行协调性显著提高。建设之前，连采机、梭车工作协调性只能依靠人工操作；建成后，连采机、梭车依靠控制系统进行协调作业，更安全可靠。

三是作业人员健康安全方面，掘进工作面环境恶劣，工作人员人身安全和职业健康受到严重威胁的区域，连续采煤机智能控制系统的研制成功，能够将人员从极度危险和职业病频发的区域中撤离出来。

案例 20 华阳一矿高抽巷全断面快速掘进系统

主要完成单位：山西华阳集团新能股份有限公司

一、主要建设内容

（一）智能化快速掘进系统构成

华阳一矿 81405 高抽巷运用 EQS-3000 型全断面岩巷盾构机顺利实现截割和装载一体，矸石经刀盘中心的溜渣槽，落到一运皮带机、二运皮带机，后经高抽巷 DJS80/20/2×160 型高强度皮带机运输，再经采区 2 部皮带机转载至充填巷立眼。立眼安装 P-90B 型耙岩机将矸石转载至 DJS80/2×55 型可伸缩皮带机，至 HDJA00 型充填抛矸上料机和 TCJ-D80/30/67 型抛矸机，实现井下就地充填（图 1）。

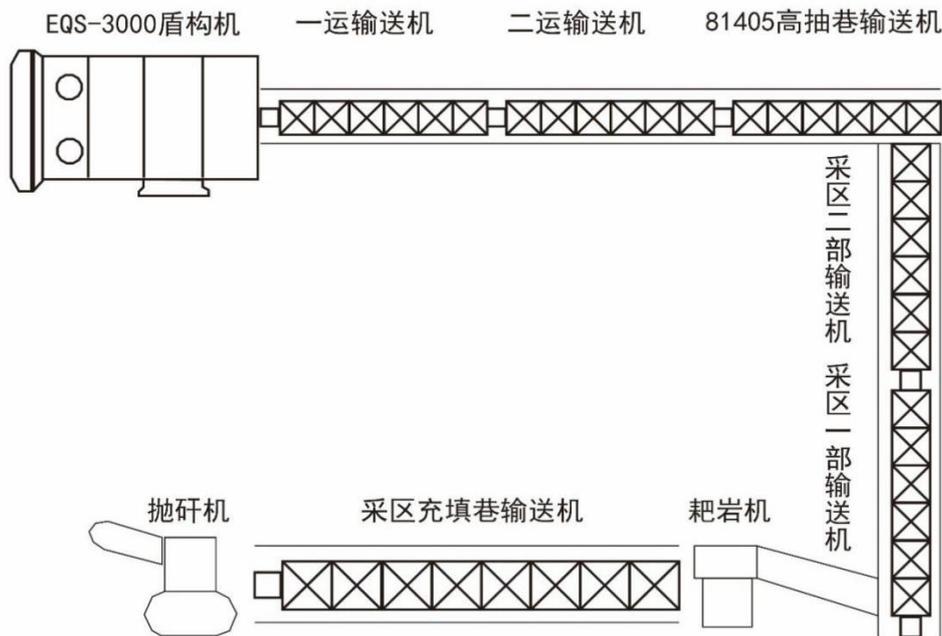


图 1 81405 高抽巷智能化快速掘进系统构成

（二）创新完善运输排矸系统

考虑盾构机渣石较碎和含水量大的实际，为避免渣石成泥糊状造成运输难题，选择在采区口施工一条大断面充填巷，巷道实际施工长度 750m，沿 15#煤层顶板掘进，净宽 6.0m，净高 5.0m，净断面 30 m²，设计充设计充填体积 20000m³，经测算基本满足 81405 高抽巷掘进矸石量。

（三）智能化快速掘进系统实现的具体目标

建立以集中控制系统为核心，利用井下环网和光纤将井下数据上传至地面工控机和安全管控平台，实现盾构机、动力馈电分路开关、皮带变频开关、局扇变频开关、风专馈电分路开关的工况显示及远程控制启停、故障诊断、数据监测、各系统风、水用量统计。并增加热释传感装置具备危险区域人员接近识别与报警功能。

（四）设备运行优势

一是 EQS-3000 型全断面岩巷盾构机集智能导向、远程监控、多级保护、应急防护、故障诊断、趋势预警、精准支护、连续排矸数字化、自动化、智能化系统于一体。二是综合运用撑紧系统、推进系统、截割系统等多种传感器，同时对关键位置实时在线监测，避免发生机械损伤和人员伤害事故。三是支护工人通过遥控器操控机载液压型锚杆钻机进行支护，可实时调整锚杆钻机在盾构机上的位置，保证钎杆或锚杆与钻孔始终重合，保障支护的连续性。四是采用多级皮带运输方式排矸，减少皮带延伸量，并配备用液压绞车，用于移动机尾。五是盾构机配备多种保护装置，实现盾构主控室集中控制启停，可实现连续运输和无人值守。

二、技术特点及先进性

一是掘进效率高。盾构机通过在 81405 高抽巷的成功应用，单日最高进尺完成 51m，刷新了全国同类巷道最高生产纪录，月最高进尺完成 641m，平均班进 10.13m，最高班进 28.2m，改写集团公司岩巷月进历史，单进水平是原来的 3~5 倍，工效也是原工艺的 2~3 倍。

二是机械化、成套化、智能化程度高。盾构机实现截割、装运、支护工艺的全部机械化、连续化作业，且有自动作业、调整、监控的信息化和智能化模式。

三是安全性高。通过刀盘截割、护盾临时支护，人员在永久支护下作业，具有较高的安全性。

四是支护成本低。巷道断面为圆形，且成型质量好，围岩破坏少，现场锚杆布置数量少，支护成本大大降低（图 2）。

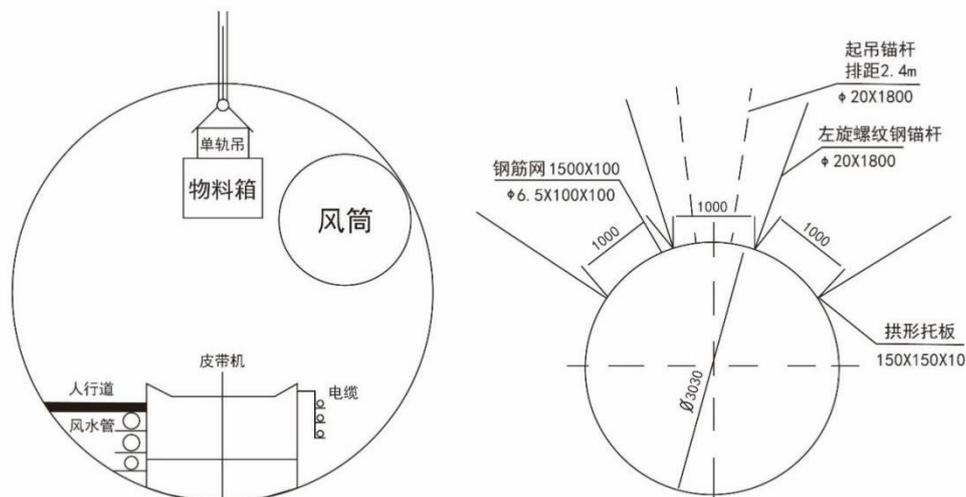


图 2 巷道断面布置及支护图

三、智能化建设成效

一是盾构机实现机械化破岩，破岩速度快，工作面粉尘少，只需 1 人操作完成作业，2m 循环用时 1h。二是盾构机巷道顶板支护简单，顶帮锚杆数量少、支护强度小，单排用仅 20min，平均每米材料成本 300 元，支护成本不到原来的三分之一。三是盾构机永久支护采用盾体后掘锚平台机载式钻机进行，实现了机械化施工和截割平行作业。

案例 21 可可盖煤矿超长斜井全断面智能掘进系统

主要完成单位：陕西延长石油矿业有限责任公司

一、主要建设内容

可可盖煤矿是陕西延长石油（集团）有限责任公司在“十四五”期间的重点项目，该矿井坐落于陕西省榆林市榆阳区小纪汗镇，井田面积 177km²，可采储量 12 亿 t，设计产能 1000 万 t/a，服务年限 88.5a，建设有主、副斜井，中央进、回风立井以及北一回风立井，全矿井采用分区式通风。作为在建的大型矿井，可可盖煤矿秉承“智能化建井，建智能矿井”理念，在建井全机械化和远程操控平台的基础上，建立集智能感知、智能决策和智能控制为一体的智能控制平台，探索出切实可行的斜井智能化建井模式。

可可盖煤矿采用主、副斜井开拓方案，主斜井设计全长 5304.9m，5.6°缓坡下山；副斜井全长 5302m，6°缓坡下山，每隔 1000m 设 50m 的缓冲平段。采用全断面敞开式掘进机施工基岩段，断面形状为圆形，掘进断面面积为 39.9m²，采用锚网喷联合支护。可可盖煤矿基于全断面敞开式掘进机，斜井施工采用全机械破岩工艺，实现了斜井“探-掘-支-锚-运”五大工艺的机械化作业，为建井模式智能化奠定了工艺基础。可可盖煤矿进一步借助物联网、智能感知、大数据、5G 技术、仿真技术、云计算等新兴技术，联合铁建重工集团，结合煤矿敞开式斜井施工工艺，研发了全断面掘进机智能掘进控制系统（图 1），将五大工艺中的掘进工艺实现了全流程智能化控制。



图 1 全断面掘进机主机组装完成

（一）掘进机智能控制系统

根据地质勘察数据与实际掘进参数，建立围岩可掘性的动态评估模型，并物联网与远程高效视频监控技术，研发出全断面掘进机掘进装备运行智能监测控制系统。掘进机智能监测控制系统（图 2）通过围岩特性分析结果和方位感知，实现对推进速度、掘进状态、刀盘转速等多动作多功能区的智能控制。

（二）方位感知

全断面掘进机精准钻进和装备姿态智能调控系统，建立了激光+传感器组合导航系统，直观实时掌握设备姿态和偏离设计轴线程度，同时以数值的形式准确地描述全断面掘进机设备主机前部与后部相对于巷道设计轴线的实际偏移量，通过地层处理和远程操控技术实现装备姿态调整和掘进方向的精准控制。



图 2 掘进机智能控制系统

（三）截割部工况感知与过载保护

基于截割部温度、压力、转速等感知原件，智能控制系统可自主分析掘进机工作时各系统运行状态，并通过掘进机工况报警子系统，预警故障。根据报警信息，掘进机操作人员可切换至人工控制操控掘进机，智能控制系统会将人工控制动作进行分析并自主学习。此外，针对刀盘温度过高、刀盘压力过载等严重问题，智能控制系统会通过自分析决策，启动刀盘及相关附件自我过载保护。

（四）自动喷混系统

混凝土喷射系统主要由混凝土输送泵、喷射机械手、供电及电气控制装置、液压驱动装置、速凝剂泵送系统和平台附件构成。整套系统安装在喷混桥上实现与全断面掘进机掘进同步混凝土喷射支护，全断面掘进机喷混系统已预设喷浆泵压力、机械手移动路径，并可远程控制喷混系统启停。

（五）智能化支护系统

全断面敞开式掘进机的支护环节主要包括锚杆索施工、钢拱架安装、仰拱块铺设和全断面喷浆，协同智能控制上述四个施工环节，是智能支护控制系统的主要内容。本案例通过信息化、全面感知、智能控制等前沿技术相融合，研发了基于全断面智能掘进信息互联协同控制的智能支护系统。智能支护系统通过分析人工支护方式作业运动原理，模拟人工施工行为动作，极大提高了支护作业智能化。

（六）推进控制系统

全断面敞开式掘进机调向直接简便，可适应可可盖煤矿 6°斜井的掘进调向及防栽头，其具体调向方式为：调节扭矩油缸伸出和缩回来进行上下调向，调节左右撑靴油缸行程差来进行左右调向。

（七）车辆失速智能保护

车辆失速智能化柔性拦截系统采用先进的通信、监测、信息处理、计算机等技术构建，以无线通信技术（无线传感器网络）为技术基础的井下无轨胶轮车运输监控系统，使用工业以太环网网络和无线传感器网络的网络结构，实现对煤矿井下无轨胶轮车运输的监测、控制、拦截管理等功能，提升车辆运输系

统安全及效率。该系统集监测监控、智能预警、智能联动、融合共享及数据可视化于一体，具有设备自诊断、通信双保障、拦截双触发、车辆准拦截、拦截柔性化、控制智能化等优点。该系统安全可靠维护方便，具有较好的安全性和实用性。

二、技术特点及先进性

本案例研发了煤矿超长斜井全断面敞开式掘进机掘进成套工艺技术装备体系，突破了“深埋超长、连续下坡、地层富水、地层多变、岩性软弱”复杂地质条件斜井智能化高效建设的工艺技术装备瓶颈，展现出了机械化程度高、无需爆破作业、井下人员少、施工效率高、施工质量好、安全性高等诸多优势。项目创建了“有人安全巡视、无人掘进操作”的安全高效建井新模式，将矿工从危险环境中及高强度劳动中解放出来。具体表现在：

1.本案例创新采用智能化、全机械化破岩技术，相对于钻爆法施工减少炸药消耗量约 1100t、雷管约 140 万发，减排二氧化碳 220t；机械破岩对巷道围岩扰动小，减少了超欠挖，减少了支护材料消耗，节约了支护成本；全断面敞开式掘进机智能掘进技术装备大幅度减少了斜井掘进工作面作业人员，掘进效率较传统综掘法、钻爆法分别提高了 3 倍和 5 倍以上；实现了“无人则安，少人则安”智能安全建井模式的成果实践，改善了矿工的作业环境。

2.项目研究成果创新了全断面敞开式掘进机智能掘进工艺技术体系，实现了复杂地质条件下全断面敞开式掘进机施工超长（>5000 m）斜井施工，是我国煤矿智能化建井技术的重大技术突破，具有安全可靠、绿色低碳、高效智能等多方面优势，在我国矿井安全高效建设方面具有显著的应用潜力和价值。

三、智能化建设成效

项目研究成果是智能化建井领域重要实践，将为煤矿智能化建设提供有力技术支撑，为我国西部煤炭资源高效煤矿开发建设提供了可复制、可借鉴、可推广的智能化建井新模式，具有典型的示范引领作用。

案例 22 山脚树矿 5G+智能化综掘系统

主要完成单位：贵州盘江精煤股份有限公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

贵州盘江股份山脚树煤矿智能化综掘 230310 工作面在引入成熟的智能化综掘机基础之上，再次引入掘进巷道钻探、运输、锚固成套工作装备，采用与 5G 相结合的通讯方式，实现综掘工作面掘进系统数据传输高效稳定，基于综掘巷道施工作业较为繁琐的实际情况，优化了综掘工作面掘进工艺，采用多工序智能掘进系统作业方法，实现掘进巷道探、掘、支、锚、运一体化掘进机组智能作业，提高掘进面作业效率。总体布置情况分为两部分，分别为巷道“地面作业”和“空中作业”，“地面作业”主要是掘进装备，实现综掘工作面掘进机自动截割、装载、运输等，“空中作业”主要是探测、锚固、运输等，合理利用了巷道地面和空中的空间，优化巷道内锚护的作业工序，实现巷道迎头“分节拍”锚护，结合智能化和 5G+ 的控制系统，最终建成山脚树煤矿综掘全工作面成套装备自动化掘进及多工序锚护的示范面。

在瓦期抽采治理上，抽采智能化钻机增加了大容量钻杆箱及机器视觉人工智能技术，并实现了地面调度中心远程集中控制井下智能化钻机作业，一箱钻杆就能完成一个钻孔，提高了工作效率，大幅减轻了工人的劳动强度。建成了贵州省瓦斯抽采智能化打钻示范点，也为其他类似矿井的瓦斯抽采智能化建设提供借鉴。

（二）主要内容

山脚树矿智能化成套掘进系统由地面综掘系统、空中单轨吊系统、智能化控制系统、5G+掘进控制系统（如图 1 所示）组成。地面综掘系统是以综掘机为基础，增加多部锚杆装置，实现掘进智能化，锚护机械化。空中单轨吊系统主要是结合探测、锚固、运输为一体，可完成井下材料运输工作，同时可参与掘进工作，实现迎头探水、探瓦斯；并且增加两部锚杆钻机，可完成巷道内任意位置的锚固。

智能化控制系统以掘进装备姿态监控与智能感知系统、掘进装备定形定向截割系统、掘进系统协同控制及远程遥控系统、掘进机人员定位系统、掘进机集控系统为主要构成，实现地面掘进系统的智能化作业。5G+掘进控制系统主要是建设山脚树煤矿专用5G网络，地面5G覆盖山脚树煤矿绞车房和办公区，井下5G覆盖山脚树煤矿采区综掘面；在矿用5G无线通信系统基础上，运用5G网络实现对井下掘进机的无线远程控制功能，从而在远程操作的条件下，完成高效、安全的井下掘进作业，实现煤矿井下掘进工作的智能化、少人化的目标。

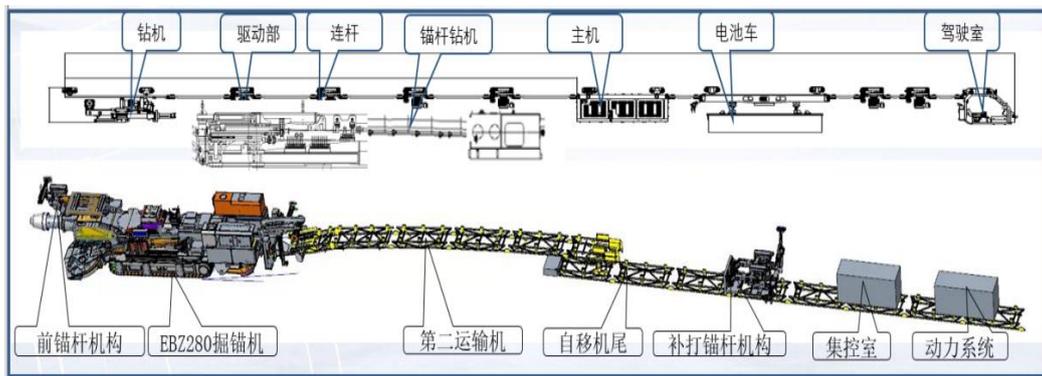


图1 智能化成套综掘装备系统示意图

1. 总体配套情况建设效果

如上图所示，总体为掘锚机+第二运输机+自移机尾系统+单轨吊系统成套方案：

- (1) 智能掘进：远程智能截割、截割轨迹在线监测。
- (2) 第二运输机：将物料转运至自移机尾上方。
- (3) 自移机尾系统：独立的液压系统，可以自行迈步前移，不需掘锚机后退拖拽；增加补打锚杆机构，用于后方锚杆施工。

(4) 单轨吊系统：单轨吊系统安装在巷道的上方，不占用下方空间，并且在单轨吊上增加超前钻探和锚杆系统，用于探水和探瓦斯，锚杆系统可以进行锚杆作业。

(5) 协同控制：协同控制成套设备，达到协调、连续、高效、安全运行的目的。

(6) 锚护平行作业：掘锚机在前面打部分锚杆，其他部件在后面补打锚杆、锚索，根据顶板条件，按同节拍作业时间分解前、后锚杆作业，实现锚护平行作

业。

掘锚机主要是在掘进机基础上增加两部机载锚杆钻机，同时优化整体结构，实现一体化作业。



图2 掘进机

自移机尾的末段有液压泵站，液压缸实现机尾迈步前移与横移功能。三运机尾向前移动时，不再需要掘锚机后退拖拽机尾，自移机尾自带动力，可以自己迈步前移，为掘锚机节省时间，提高掘进效率。自移机尾后方增设锚杆机构，锚杆机构可以用于补打锚杆或锚索，减少人工操作，见图3。

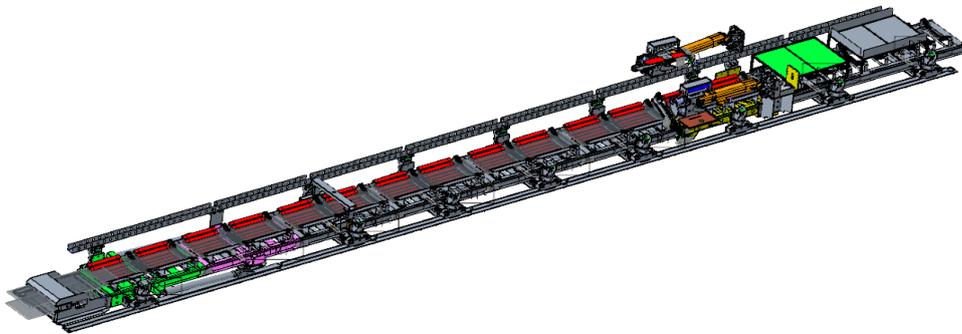


图3 自移机尾

补打锚杆机构安装在自移机尾上方，用于后方锚杆或锚索的补充施工，可有效减少人员搬运锚杆机带来的高强度劳动。整体与掘锚机锚杆部一致，保证通用性，减少配件数量。

单轨吊系统整体结构，见图4，主要分为三大部分：

- (1) 蓄电池单轨吊
- (2) 锚杆机构
- (3) 超前钻探装置

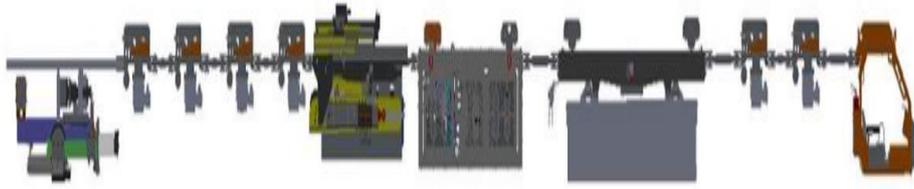


图 4 单轨吊系统

单轨吊采用防爆特殊型蓄电池单系统，以德标 I140E/I140V 工字钢为运输轨道，以车载防爆铅酸电池为动力源，与专用吊装设备配合，来完成井下材料、设备和人员等辅助运输任务，同时将超前钻机安装在设备前端，用于探水、探瓦斯，见图 5。锚杆钻机整机结构如图 6 所示。



图 5 单轨吊系统

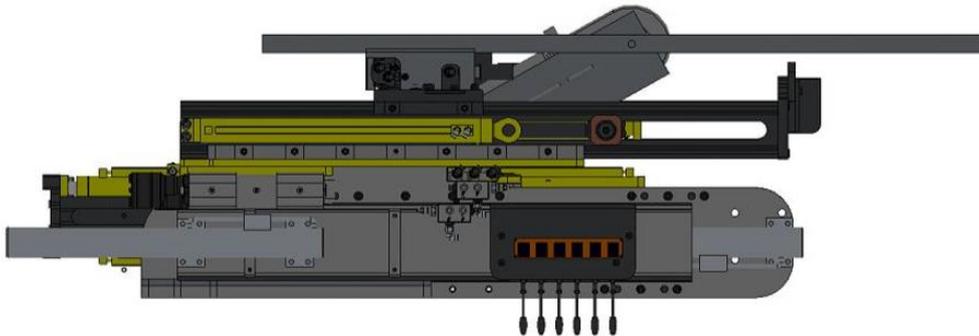


图 6 锚杆钻机

超前钻探装置钻臂通过承载连杆、调节油缸、推动油缸连接在起吊梁上，起吊梁上方加装两个承载起制小车，用于进行制动刹车。

2. 智能化控制系统部分建设效果

（1）掘进装备姿态监控与智能感知系统

整体基于惯性导航技术的掘进机定位技术。惯性导航技术是通过陀螺仪和加速度传感计测量掘进机的三轴角速度和三轴加速度信息，通过积分运算得到掘进机的姿态与位置信息，是一种不依赖外部信息的自主导航技术，见图 7。惯性导

航系统的无源特性特别符合在井下的使用要求，目前惯性导航系统在煤矿井下救援机器人、综采工作面直线度测量与控制中的研究与应用正得到国内外的广泛关注。

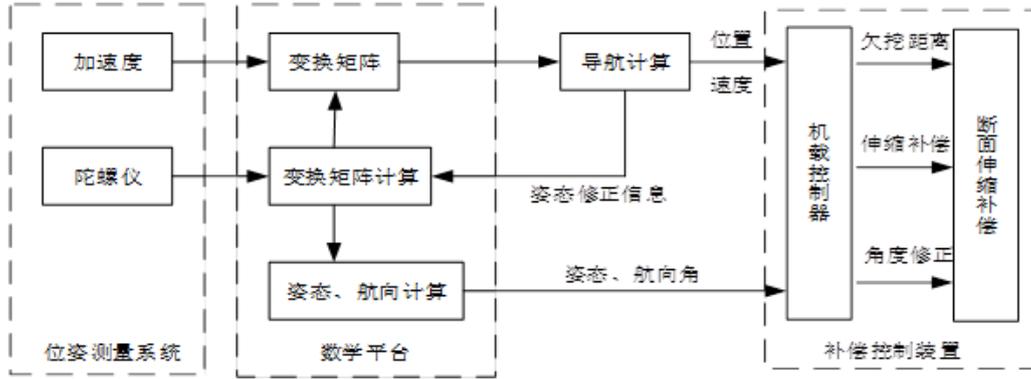


图 7 掘进装备姿态监控与智能感知系统

对于掘进机位姿偏向位移的测量用激光指向仪光斑检测系统和激光测距仪实现，主要分为数据获取和数据处理，见图 8。



图 8 掘进机位姿偏向位移的测量原理图

掘进机可视化系统主要由数据采集设备、数据传输设备、核心控制设备三部分构成，见图 9。

(2) 掘进装备定形定向截割系统

基于断面自动截割成形控制运动学分析，提出了截割头空间位置坐标的检测方式，运用神经网络控制算法等建立掘进机定位断面自动切割控制系统，提出截割轨迹优化方法及工艺，提高掘进精度及效率。

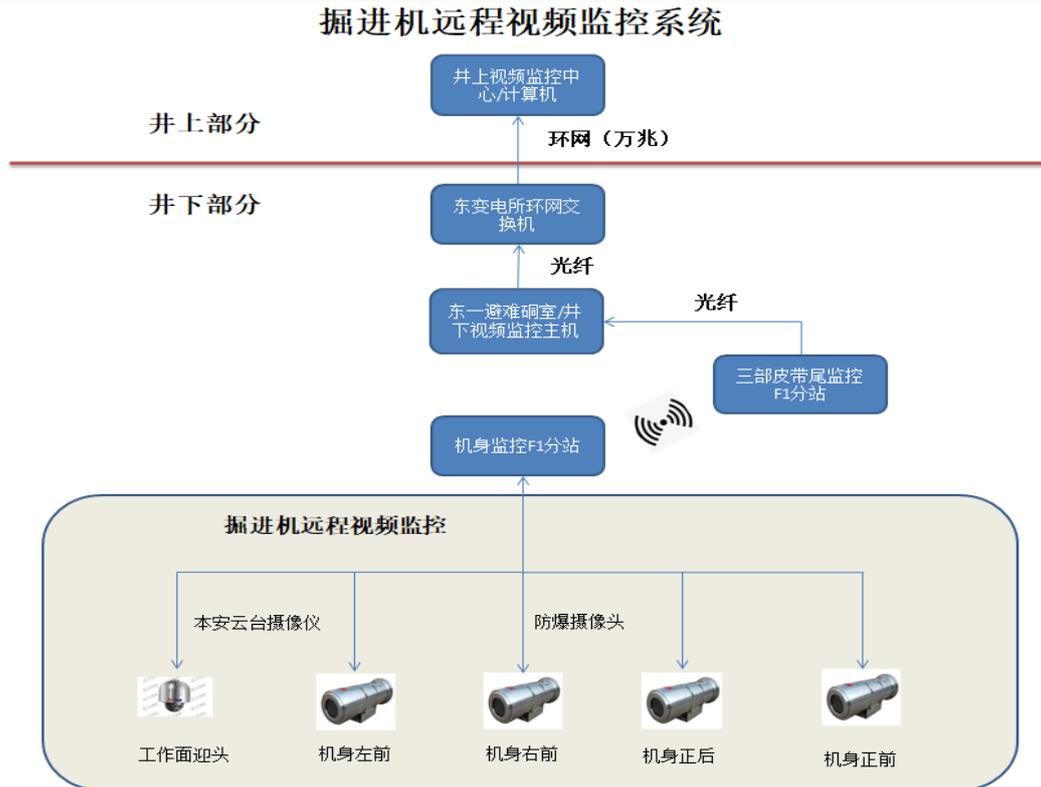


图 9 掘进机可视化系统示意图

掘进机的智能控制有掘进机行走部的智能路径跟踪和掘进机截割臂自动断面成形截割两部分。由此基于三维重建数据、期望巷道模型和截割工艺，提出了一种基于有限状态机切换的高阶滑模控制方法，并设计了控制系统。

采用云端-远程-本地三级运动控制架构，利用三维测量信息，实现截割导航与断面自动截割。利用惯性导航系统实时获取掘进机在空间巷道内位置关系，重建工作面作为三维地图。根据掘进机器人当前位姿，利用随机路图（PRM）方法，自动规划至截割面的运动轨迹。

对于掘进机来说，巷道断面的截割环境是全局已知、局部未知的准静态环境，虽然截割过程中可能发生遇到夹矸的情况，需要基于多参数对夹矸位置及截割臂的位置进行描述，但是轨迹规划是要针对掘进机的整体截割工艺流程及断面进行设计，因此采用栅格地图作为掘进机的环境建模模型，并基于该地图对截割轨迹进行规划。

（3）掘进系统协同控制及远程遥控系统

掘进系统协同控制及远程遥控技术主要包含四个系统，分别为掘进机智能控制系统、掘进机远程可视化系统、掘进机人员定位系统、掘进机集控系统。

①掘进机智能控制系统

掘进机智能控制系统主要包括数据采集与传输单元、智能截割单元、远程控制单元。

②掘进机远程控制系统

掘进机远程控制系统立足于新型机械产品技术领域，面向工程机械装备制造产业，将煤炭巷道掘进技术升级换代，解决现有煤巷掘进带来的管理、安全、环保、效率等一系列问题。系统针对巷道工作面进行研究，以一种具有实时性的掘进机机身位姿参数测量系统作为基础，提出悬臂式掘进机智能远程控制方案，研究一种新型实用的掘进机智能远程控制系统，能够长期适用于现场恶劣的采掘环境，让司机远离粉尘和现场危险地段，改善操作人员的工作环境，减少人员伤害事故，提高掘进作业的安全性。

③多机协同控制系统

掘进设备的电控系统实现对设备上多电机的复合逻辑控制和保护、电磁阀控制和比例调节、传感器数据采集、远程遥控、图形显示、人机交互等功能。各设备电控系统通过无线通信装置、机载分站 5G 模组与矿方 5G 基站完成通讯，进行数据双向交互，实现高效快速掘进系统的协同控制，见图 10。

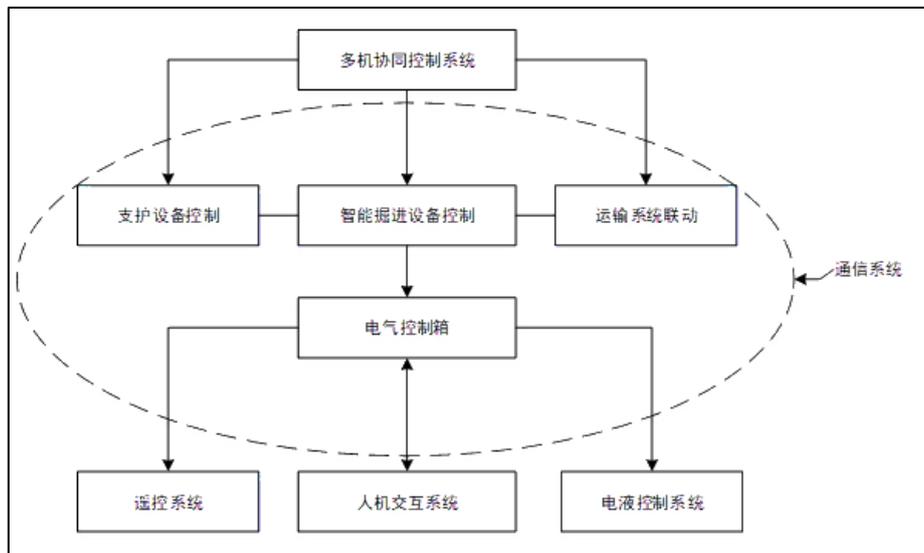


图 10 多机协同控制系统

(3) 智能瓦斯抽放钻机远程集中控制系统

智能瓦斯抽放钻机远程集中控制系统以用户为中心，遵循安全、生产与经营管理业务线，基于私有云&公有云搭建的混合云云计算平台基础，提供云平台

IaaS、PaaS、SaaS 产品服务，围绕监测实时化、控制自动化、管理信息化、业务流转自动化、知识模型化、决策智能化目标进行相应业务应用设计，提供煤矿智能化控制门户、智能监控、安全生产管理、精细化运营管理、四维时空数字化服务和智能决策支持服务，实现煤矿抽采智能管控。

地面远程集中控制系统（图 11）由矿端地面智能控制站、云端地面智能控制站和移动端智能监视站组成，通过显示屏结合混合现实和操作杆力反馈等技术实现对井下设备的远程操控，达到亲临现场操作的感觉。其中，矿端智能控制站通过模块化设计的嵌入式软件，支持多种远程通讯模式及主流工业总线，采用多项技术提高系统远程通讯的可靠性，自诊断能力强，能监视主要硬件和软件的工作状态，并通过有线或无线方式传送数据，实现设备的远程监控和故障诊断、故障保护、故障记录等功能。



图 11 地面远程集中控制系统

(4) 智能化钻机

智能钻机（图 12、13、14）采用 $\Phi 73 \times 1000 \text{mm}$ 规格的钻杆，设计钻孔深度 300m，一次钻杆箱装载 300 根，钻杆净重大于 6t；倾角和方位角可自由调整；整体采用主机钻车和钻杆车分离方式。

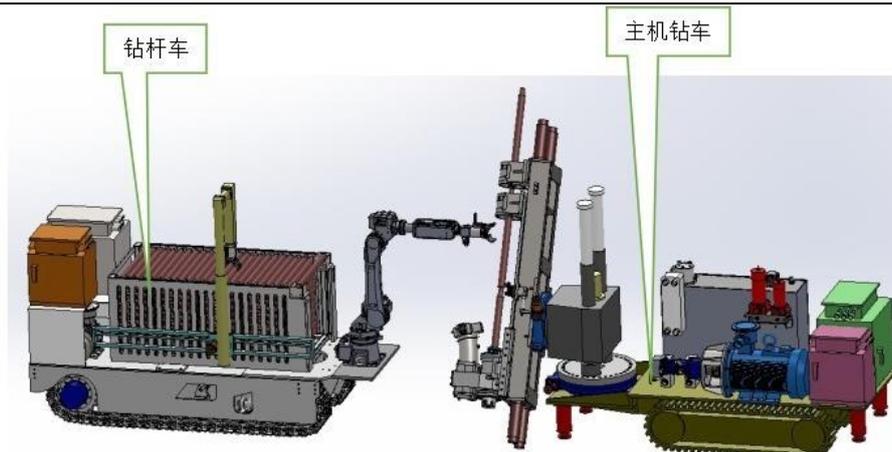


图 12 智能化钻机

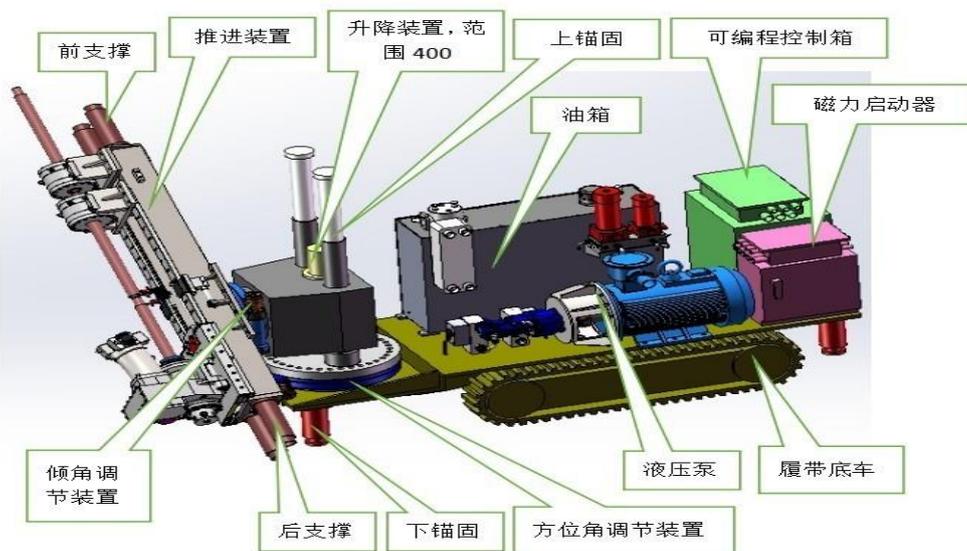


图 13 主机钻车结构示意图

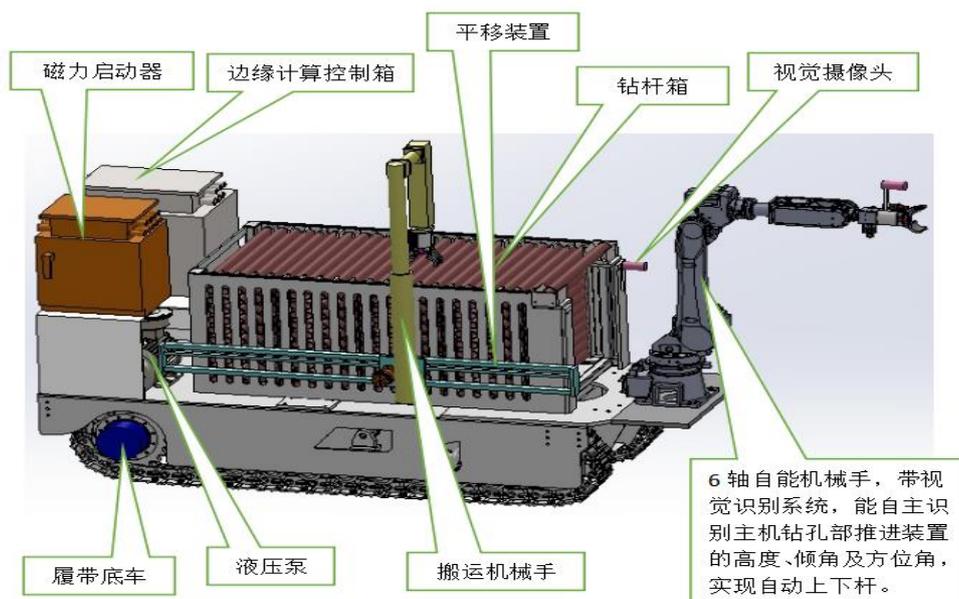


图 14 钻杆车结构示意图

(5) 钻孔轨迹测量系统

利用地面空间位置测量的成熟技术，以及基于高精度姿态检测传感器模块获取钻孔轨迹，利用成熟的无线通讯技术，实现钻孔轨迹测量系统，实现钻孔轨迹随机记录，开孔角度实时测量。钻孔内的无磁探管将数据无线传输至现场测量主机上，在测量主机上可以查看、存储、查询所获取的钻孔三维轨迹及其相关参数，钻孔轨迹测量装置配套智能化抽采钻机，协作开孔姿态角度调整、获知瓦斯抽放钻孔施工中位置偏差，在保障煤矿生产安全方面发挥积极作用。

（6）瓦斯抽采钻孔群质量评价系统

瓦斯抽采钻孔群质量评价系统（图 15）能够将钻孔数据显示为二维及三维图，并能够形成 Excel 数据报表，图形轨迹能够保存为 CAD 格式。计算机软件能够展示钻孔群的设计及实钻轨迹，形成二维及三维图形；实现钻孔质量评价数据化、对钻孔和钻孔群进行有效性评价，实测钻孔与设计钻孔比较分析、钻孔质量评价标准化和输出钻孔竣工图。其评价结果可以指导和修正钻孔施工开孔参数，修正区域或局部钻孔设计方案，从技术手段上和根本上解决打钻空白带问题，有效解决由于打钻不到位而引起的煤与瓦斯突出、瓦斯超限、瓦斯爆炸等重大煤矿安全生产问题。

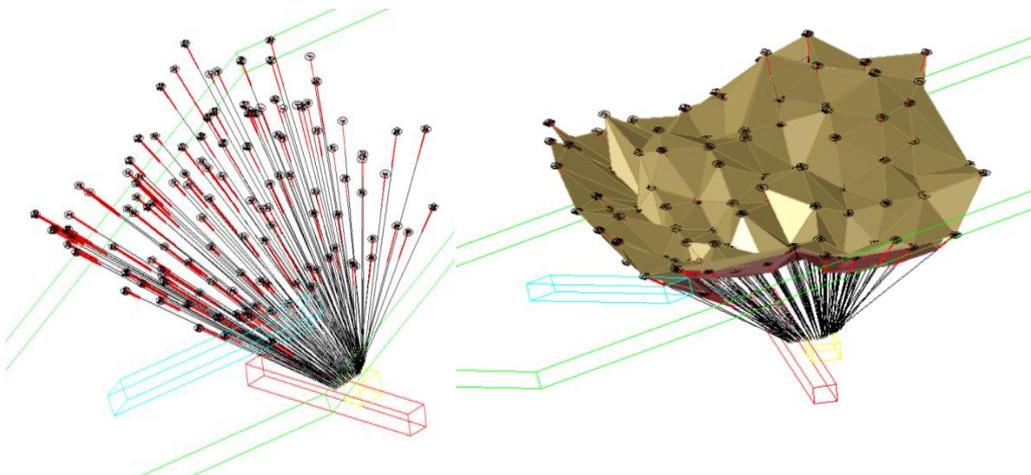


图 15 瓦斯抽采钻孔群质量评价系统

二、技术特点及先进性

1.5G+掘进控制技术

建设 5G 网络后与矿上现有网络形成清晰的组网架构、保障网络具备良好的性能；通过 5G 模组在掘进机上的安装和改造，实现基于 5G 的远程低时延控制，见图 16、17。

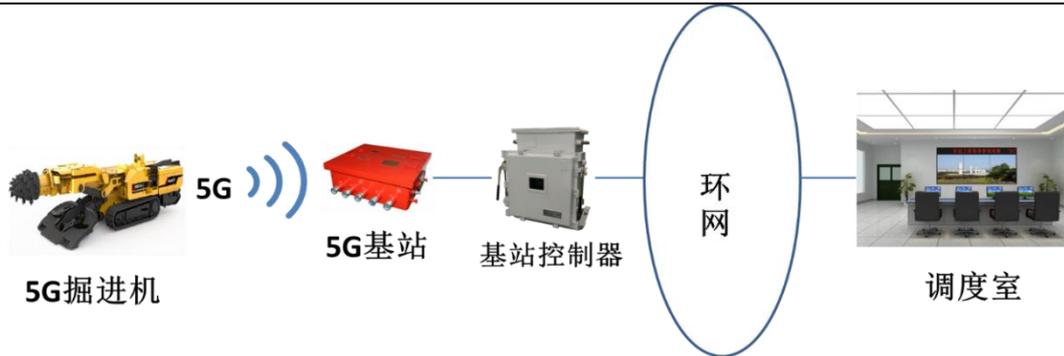


图 16 5G+掘进控制技术示意图

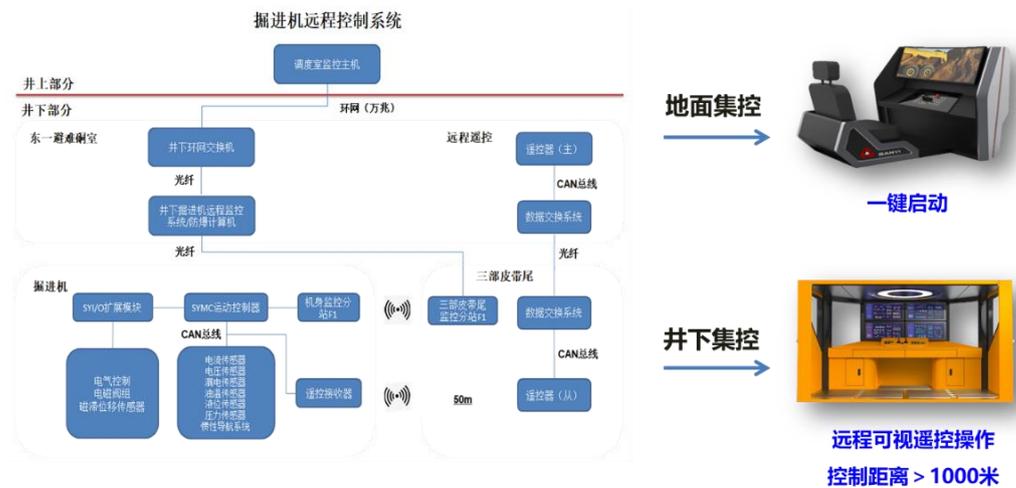


图 17 5G+智能掘进规划-远程智能控制技术

5G+掘进控制系统可实现井下环网达到 5 万兆带宽，且支持不更换设备的条件下，平滑升级至 10 万兆，在国内煤矿属领先水平；井下既建立了 5G 宽带网络，又建立了 NB 窄带网络，更加切合煤矿使用需要；全网交换机连接均可基于单、多模光纤或铜介质，可按需要任意选择；网络采用环网结构，光纤网络中的任何位置发生一个断点事故均可在瞬间内完成链路通信的恢复；主要网络节点设备均有主备切换，单一节点故障不影响整个网络使用；全网基于统一、简洁的网络管理。同时，地面控制中心远程控制井下掘进机指令传输时延不超过 50ms；井下通过遥控器远程控制掘进机指令传输时延不超过 20ms；掘进机可通过地面控制中心实现远程一键启停。

2.智能防卡钻技术

智能抽采钻机为提高钻机防卡钻自动化水平，增强防卡钻效果，结合现场施工经验，基于大数据专家库采用人工智能算法，建立以 PID 与信号选择器相结合的控制策略，实现煤矿钻机自动防卡钻电液控制系统。该系统可实现回转动力的自

适应变化，避免回转动力不足引发的卡钻，降低了系统能量损失。控制器实时监测回转压力信号，控制电液伺服阀阀芯运动，实现给进力的自适应变化；同时系统可根据回转压力自动判别卡钻程度，并自动采取相应的防卡钻措施，增强了防卡钻的效果。通过软件进行系统仿真试验，验证了自动防卡钻电液控制系统的可行性。

在自动防卡钻电液控制系统中，PID 控制器用于回转压力的控制。控制器设定值为 16MPa，输入值为油压传感器实时反馈的回转压力值，偏差值为设定值减去输入值，PID 控制器以偏差值为输入信号，在对偏差进行比例、积分、微分运算后输出控制信号。当回转压力超过设定值 16MPa 时，PID 控制器通过 3 种不同形式的控制作用消除系统偏差，抑制回转压力持续上升。

3. 机器视觉伺服控制技术。

利用工业六轴机械手臂应用在煤矿井下，通过视觉伺服控制系统判断视野内是否有待抓取钻杆，对摄像机、目标和钻机的模型进行实时校准、实时跟踪空间目标并获取抓取目标的三维位姿信息，规划抓取路径，从而控制机械手臂对目标的准确抓取。

三、智能化建设成效

（一）提高劳动效率

受工综掘工作面掘进程序繁多的影响，并且锚护作业占用时间长的影响，严重影响采掘比例失调，我矿创新地采用多种装备协同同坐，并且采用多工序“分节拍”锚护方法，实现锚杆作业分散化，实现多位置锚护并行作业，大大提高了巷道掘进的效率。同时综掘工作的施工均由人工改为机械化，并增加智能化控制系统，进一步提升了煤矿井下的安全性和智能化程度。相对于传统人工控制机械设备作业方式在效率上有了明显的提高，为矿区智能化探索与发展打下坚实基础。

（二）加强安全保障，减轻劳动强度

为进一步提升智能化水平，我矿提出了井下 5G 网络建设，实现智能掘进 5G+ 远程控制，不仅对煤矿提供强有力的无线通信网络保障，还可为井下移动音视频通话、井下传感器无线通信、移动机器人巡检、低延迟大型设备远程控制等应用

场景提供优质的网络环境保障，为煤矿智能化建设提供更多无线化应用的可能；光电缆及设备数量的减少，维护工作量下降；随着自动化和智能化系统的逐步增多，维护人员在原有基础上可维持不变甚至减少，不但提高了安全性，同时提高了作业效率、减轻了劳动强度。

（三）精准施钻，为瓦斯治理提供更加强大有效的数据支撑

普通钻机施工过程中主要依靠人工经验调节钻进参数，操作人员操作技能参差不齐，钻孔施工时出现喷孔现象或瓦斯超限时，存在安全隐患；卡钻、掉钻事故频发，无法按照钻进工况及施工工艺自动调节钻进参数，进行自适应钻进。智能瓦斯抽采钻机根据抽采工艺所设定的技术参数，以及现场传感器传回的数据，实现抽放钻孔的自动钻进、退杆、自动装卸钻杆、自适应钻进调节等。系统采集了包括压力传感器、温度传感器、位移传感器、编码器、接近开关、转速传感器、瓦斯传感器、一氧化碳传感器、流量传感器等传感器数据，实时监测钻机设备的数据（钻机的打孔轨迹、钻头压力、钻孔速度、钻孔深度、倾角度、钻杆箱现有杆数量、存取机器人手臂位置），并且该数据通过网络上传到地面控制站，实时显示进退钻过程中的状态，再结合经验数据（推进压力、钻速、图像分析等）预防卡钻、喷钻。

第三章 智能采煤

案例 23 保德煤矿基于 F5G 网络的采放协同工作面

主要完成单位：国能神东煤炭集团有限责任公司

一、主要建设内容

结合国能神东煤炭公司保德煤矿 81309 综放工作面地质条件、装备进行研究，以智能煤矿为依托，建设智能控制平台、网络平台（F5G 网络、5G 网络），融合采放协同工艺、煤矸识别、智能放煤、自动找直、人员定位、机架安全联动、瓦斯安全联动等技术，最终为 81309 综放工作面提供一个智能化综放解决方案及应用实现。首先，在矿井规模部署 F5G 工业光网络，颠覆网络架构、将逐级汇聚的传统三级网络简化为一跳上井的新型二级网络。井上设备 ORH（Optical Ring Head，光环网头端设备）提供多个万兆接口，井下设备 ORE（Optical Ring End，光环网末端设备）支持上行万兆/下行千兆，ORH 和 ORE 之间连接采用 ORP（Optical Ring Passive，光环网无源设备），实现井下业务一跳到井上。创新性的与现有井下综合分站相融合，ORE 安装在综合分站，满足综合分站里人员定位、语音广播、温度及振动传感、视频监控等业务接入综合承载需求。此外，利用井下光缆资源，同一个光缆不同光纤，实现 1+1 芯（主备）光纤从井上机房直达综采面，通过 F5G 网络实现综采面的万兆视频专线。

其次，通过搭载防爆视觉传感器，建设具有视觉巡检扫描与工作面建模功能的巡检机器人，实现回采工作面高精度三维动态地质模型实时调整；提出煤矸图像高效预处理与精准识别算法，开发适用于综放工作面高粉尘环境的长效防尘、主动除尘的智能摄像头；研究煤矿煤矸的视频图像数据特点，通过卷积神经网络对样本图像数据进行半监督学习，提取煤、矸目标的视觉特征，建立起煤、矸目标对象的检测、识别模型；研究基于煤矿煤矸特点的振动传感频率与时域能量分布特点，通过试验给出合理的煤矸识别频率区间；形成基于振动、视频信号的煤矸识别，实现综放开采智能化控制；最后在胶带输送机机尾

安设灰分仪，实现放煤效果的实时检验。在上述智能化项目建设的基础上，建立自动化放煤模式下的多放煤口协同冒放理论，建立采放协调智能放煤算法及工艺模型，开发采放协调综放工作面的智能放煤决策算法，开发透明开采智能综放控制系统软件，形成透明开采智能综放控制系统，最终实现“智能采放、远程干预”。

二、技术特点及先进性

1.F5G 工业光网络采用两层网络架构，全光工业网终端万兆上联，一跳上井，支持视频传输网、远程控制网、安全监控网、人员定位网等系统的业务统一接入的智能化传输高速低时延通道。

2.采用先进的 LASC 高精度三维惯导系统对采煤机进行定位，不受粉尘、光照等因素干扰，能够自主全天候获取采煤机实时姿态，全工作面通过推移控制逻辑阀基于提出的“一刀检测、一刀找直”的方案实现支架自动高精度找直控制。

3.应用智能煤矿云网融合技术，建设井下 5G 移动网络、高速固网快速接入云平台，实现策略统一调度，资源高效访问，提升综放系统调度和指挥的效率。

4.通过研究磁探伤技术，实时对刮板机的断链情况进行监测，同时融合工作面三机设备的健康状态监测、采煤机及三机的集中定点润滑系统，为工作面设备健康运行保驾护航。

5.巡检装置具备搭载高清摄像仪、红外热成像摄像仪、三维激光扫描雷达、位置检测系统、通讯系统的功能，结合轨道系统实现跟机同行走、同步高清视频和高清红外视频拍摄、工作面三维激光扫描建模，为构建三维透明工作面提供基础数据。

6.开发适用于综放工作面高粉尘环境的采集频率大于 20 帧/s, COMS 传感器靶面尺寸 2/3 英寸的智能摄像头，开发煤矸图像高效预处理与精准识别算法，同时基于煤矸灰度图像特征实现煤矸识别。

7.开发高频采集振动传感器，通过研究煤矸冲击振动信号的预处理与分析方法，获得能够表征放煤过程的特征参量及其识别算法。

8.解决智能化采放协调控制机理与方法的科学问题，建立自动化放煤模式下

的多放煤口协同冒放理论，建立采放协调智能放煤算法及工艺模型，开发采放协调综放工作面的智能放煤决策算法。通过创造性的结合多种智能控制算法，实现对采煤机智能放煤控制，实现综放工作面的“智能采放、少人干预”，最终将保德煤矿 81309 工作面建成高级智能化综放工作面，并在行业内推广应用。

三、智能化建设成效

通过一年多的系统建设，保德煤矿 F5G 网络优势初步显现，在行业内首次将现有综合分站和 ORE 设备融合集成，实现了矿井现有通信网络的平滑升级，为矿井生产数据上传、视频流等数据提供了高可靠、大链接、低延时的重要保障。81309 综放工作面已实现采煤机记忆割煤、自主导航、自动喷雾，液压支架实现了自动跟机拉架、自动收打互帮、自动推溜和采煤机的协同作业，三机已实现远程控制 and 一键启动，地面和井下监控中心已具备实时监控和远程操作，工作面已实现 5G 网络全覆盖；初步实现了自动放煤，已完成按时间放煤和记忆放煤的控制逻辑，并且达到放煤与后部刮板运输机的智能联动；完成了自动找直功能验证，lasc 系统的调试，实现每刀后的数据准确生成率；完成工作面三维智能巡检机器人的安装与调试，为透明开采和采煤机远程控制奠定了坚实基础；实现了前、后部运输机机头大块煤的视频识别、采煤机滚筒、护帮板回收状态的视频识别、人员进入危险区域的视频识别和预警；采用 UWB 的定位系统，实现人员接近防护、人员轨迹、采煤机轨迹的数据查询。目前 81309 智能化综放工作面单班作业人数由原来的 13 人减少为单班 7 人常态化作业。

案例 24 金凤煤矿透明化综采工作面

主要完成单位：国家能源集团宁夏煤业有限责任公司

一、主要建设内容

《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》中智能采煤系统架设内容为根据煤层赋存条件、工作面设计参数、产能指标等要求，建设不同模式的智能化采煤工作面：薄煤层和中厚煤层智能化少人开采模式、大采高工作面人一机一环智能耦合高效综采模式、放顶煤工作面智能化操控制割煤+人工干预辅助放煤模式、复杂条件智能化+机械化开采模式。其中，条件适宜的薄及中厚煤层实现智能化少人开采，逐步推广应用采煤机自适应截割、液压支架自适应支护、智能放顶煤、刮板输送机智能运输、智能供液、综采设备群智能协同控制等技术。鼓励条件适宜的工作面应用基于地质模型的智能化开采实践。

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司金凤煤矿在建设透明开采工作面之前，所有自动化工作面采用采煤机记忆截割+液压支架自动跟机移架模式，工作面采用 SAM 综采自动化控制系统，通过融合采煤机智能记忆割煤控制，液压支架跟随采煤机自动移架支护、推移刮板输送机控制，工作面设备可视化视频监控，无线以太网数据传输，基于惯性导航技术的工作面自动找直控制、综采设备集中控制等功能，建立综采成套装备自动化控制系统，实现在工作面监控中心和地面调度中心对工作面设备进行自动化监测控制。

金凤煤矿 011815 工作面位于金凤煤矿一分区，回采煤层为 18 煤，采用综合机械化一次采全高，走向长壁后退式采煤方法，全部垮落法管理煤层顶板。工作面走向长度 838.2m，倾向长度 288.36m，煤层厚度 2.8-3.4m，平均厚度 3.1m，煤层倾角 2°~16°，平均倾角 9°，011815 工作面回风巷、机巷、切眼掘进期间共计揭露断层 9 条，全部为正断层，可采范围内为 9 条，工作面采高为 3.40m。

金凤煤矿 011815 透明化综采工作面采用钻孔雷达勘探、槽波勘探等技术进行工作面精确建模，结合矿井原有地质、钻孔、三维地震等资料，开展三维地震

数据解释。利用地震多属性数据综合解释研究区的断裂系统，精细刻画断层、裂缝及裂隙的形态和展布；利用三维地震高精度反演技术预测煤系地层包括煤岩在内的各岩层厚度及其展布状况。融合断裂系统、煤系地层解释成果数据，构建开采区地质模型，为智能开采的透明工作面构建提供参考和基础数据。011815 工作面建模全局视角如图 1。

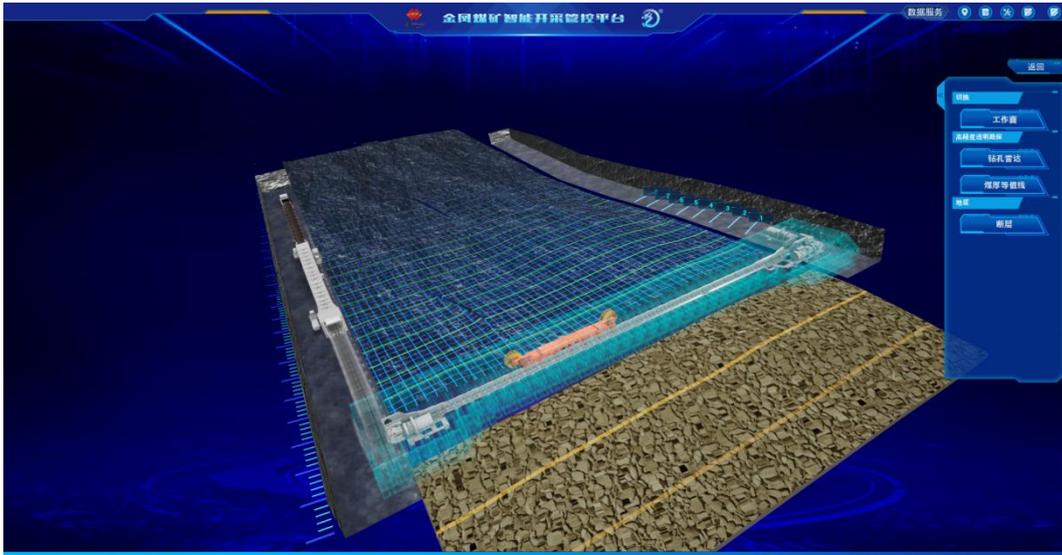


图 1 011815 工作面建模全局视角

金凤煤矿 011815 透明化工作面是构建面向煤矿智能开采的综采工作面高精度三维动态地质模型，建立数字孪生工作面，并实现模型的动态修正。研究面向智能开采的工作面及巷道成套开采装备实时数据驱动的三维模型构建技术，在开采工作面复杂条件下，实现移动设备的空间绝对位置快速测定方法。研究基于“透明工作面”地质模型的割煤基线实时生成技术、基于“透明工作面”地质模型的工作面直线度基线实时生成技术研究、基于“透明工作面”地质模型的工作面俯仰采控制基线实时生成技术，提供给控制系统下一刀截割模板数据，指导采煤机、液压支架等设备的自适应开采。最终形成三维可视乎智能开采管控平台，实现对综采设备及地质模型的动态可视化管控功能。数字孪生控制界面如图 2。



图 2 数字孪生控制界面

通过项目的研究，形成透明化工作面核心技术和主要平台实现国产化，形成了透明化自适应智能开采成套技术，初步实现“基于大地坐标的自适应智能采煤”目标，确保在装备智能化的基础上，实现智能开采的地表或远程“决策在线化，控制协同化”，为煤矿工人变为采矿员，最终实现少人或无人采煤奠定坚实的高科技基础。

二、技术特点及先进性

金凤煤矿 011815 工作面构建工作面模型的过程中采用法国斯伦贝谢 Petrel 地震解释与测井软件技术，开展三维地震数据精细解释工作，技术包括三维地震数据的叠前偏移处理、三维地震数据的加密解释，同时利用地震波运动学和动力学信息进行三维地震数据的动态解释。该方法的核心技术就是基于贝叶斯判别的马尔可夫链蒙特卡洛地质统计学反演。这种反演方法有别于一般的确定性反演和普通地质统计学反演，充分利用了地质信息、地震信息、岩石物理信息，通过对其进行充分融合，得到高分辨率地质模型。具体工作如下：

- 1.开展三维地震数据和钻孔数据的质量控制分析工作，进行该煤层解释的可行性分析，主要包括钻孔数据评价和地震数据频谱分析；
- 2.以岩石物理分析为基础，利用钻孔与地震标定建立三维地震数据与钻孔数据的联系，进而开展叠后反演工作；
- 3.结合反演成果和地震相干、曲率等属性，开展煤层三维立体精细解释；

4.结合区域内煤层以及顶底板岩性和厚度特点，开展高分辨的叠后地质统计学反演。该反演可以精细的刻画煤层厚度及顶底板厚度与岩性，对于煤系地层解释构造成果分辨率远高于常规地震解释；

5.分析钻孔、地震、地质资料对地质模型精度的影响，利用断裂系统、煤系地层岩性及厚度等成果数据，对开采区内煤系地层进行精细地质建模，重点解决开采区内各种类型断层和煤层、地层的一体化快速建模。

金凤煤矿透明开采工作面率先提出基于三维透明化工作面的智能开采控制技术，基于历史和最新的钻探、地震、生产、煤岩层探测等数据，自动构建“透明工作面”地质模型；综合采用数字化、信息化、网络技术构建工作面的智能开采系统，与“透明工作面”的三维信息充分融合，实现自适应的割煤和设备的连续推进，保障工作面的连续生产。平台配套复杂煤层条件的智能化开采成套装备，引领该领域研究发展方向，项目整体达到国际领先技术水平，形成煤矿智能开采的成套技术体系，适用于同等煤矿煤层赋存条件，全面提升煤炭行业开采水平和安全保障能力。

三、智能化建设成效

金凤煤矿在建设 011815 透明开采工作面过程中构建了基于 GIS 的透明化工作面智能开采与安全管控平台，建立了高精度的透明化工作面地质模型，利用 5G 技术集成工作面成套装备和人员的实时数据、惯导系统定位信息，利用人工测量及传感器实时数据动态修正工作面地质体和煤岩层数据模型，为工作面控制系统提供采煤截割线、直线度基线、俯仰采基线，指导工作面装备在复杂地质条件下的少人或无人自适应开采，为工作面实现煤矿智能开采的提供了必要的基础条件。

本工作面研究最终实现少人或无人开采，建立了基于网络技术的远程可视化管控，构建了透明化工作面和数字孪生系统，提供可视化的三维交互式操作平台，实现对井上下工作环境、机电设备和矿体的实时控制和决策，为操作人员提供了重要的辅助决策依据。

案例 25 华宁煤矿一次采全高智能化工作面

主要完成单位：山西华宁焦煤有限责任公司

一、主要建设内容

山西华宁焦煤有限责任公司（以下简称“华宁公司”）在智能化发展方面始终以坚持“机械化换人、自动化减人、智能化作业”的发展理念，围绕“安全、高效、绿色、智能”的创新发展理念，以“信息化、数字化、网络化、智能化”为手段，坚持管理创新与合作创新。2019 年，建成 6.3m 大采高智能化工作面，达到了设备就地、集中、远程三级网络管理，大大降低作业人员劳动强度，减少了现场作业人员数量，提高了作业安全性和工作效率，全员日工效达到 145.8 吨/人，综采队劳动组织由“三八制”调整为“四六制”，取消了夜班生产，实现了一周双休和法定节假日休假。

根据国家发展改革委、国家能源局等八部委《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》和国家能源局全国煤矿智能化建设现场推进会精神，山西省市场监督管理局发布了《智能煤矿建设规范》，其中提出了多项煤矿智能化建设的发展方向和建设原则。为响应号召和严格落实集团公司要求，围绕“安全、绿色、高效、智能”主攻方向，坚持“机械化换人、信息化减人、智能化少人”的发展理念，以引领行业智能化发展方向，建设世界一流能源企业为目标，华宁公司坚持管理创新与合作创新，加大智能化关键技术攻关与工程实践力度，坚持“前瞻性、先进性、可靠性、实用性、开放性”的原则，吸收国内外成熟、先进的智能化技术，致力于智能化建设。

二、技术特点及先进性

以党建为引领，高起点、高标准、高质量推进，全力打造中煤集团一次采全高智能化综采工作面的精品工程、示范工程、标杆工程。实施过程中完成智能化技术改造 31 项，总结各项成果 80 余项，打造“两巷五线两齐一色、工作面九线一色”（图 1、图 2）的工作理念，做到有标准、有考核、有验收，坚持从

每个细小环节抓起，做到工程“安装一段、达标一段、验收一段”，打造了 22109、22106、22111 智能化工作面安装精品工程。



图 1 工作面两巷“五线、两齐、一色”



图 2 工作面“九线一齐一色”

（一）工作面人员精准定位

工作面人员精准定位系统具有工作面“人一机一环”闭锁联动功能，能准确的根据不同工种人员在工作面的具体位置和设备的的安全距离有效的对设备进行闭锁。

（二）皮带机尾自移

皮带机自移机尾自移实现了高产高效工作面顺槽转载机与带式输送机尾的快速推移和正确搭接，满足工作面高进度、快推进的需要，同时该装置具有胶带跑偏调整、调高、转载机推移方向校正和自行前移等功能，保证顺槽转载的通畅和衔接。由 8 个两位两通阀分别控制在四个调平缸、两个推移缸，四个侧移缸和两个调高缸上，各油缸以高压乳化液为动力，液压系统工作压力不低于 20MPa，而且在四个调平缸进液回路（升起机架）设有液压单向阀，以保证机架维持所要求的状态，而不至导致机架在自重压力下自行下落。

（三）割三角煤工艺及自移架

整个工作面采煤机割煤过程轨迹呈现 z 字形，先行采煤机割透整个工作面，然后由液压支架推行形成三角煤弯曲段，采煤机斜切进刀，然后回刀吃掉三角煤，完成完整一刀的采煤过程；液压支架跟随采煤机位置进行跟机作业，采用提前过架支撑，实现三角煤割煤过程中的超前支护，采煤机到达指定位置后等待支架动作完成信号，采煤机接收到支架完成信号后进行下一步指令，建立闭环的控制系统。

（四）前部刮板输送机机尾自动张紧

自动张紧系统的工作原理为根据压力传感器所采集的数据判断伸出阀或者收缩阀的动作。其中，液压泵站为整个系统的动力源，伸出阀和收缩阀为整个系统的执行机构，通过其液压缸的收缩和伸出来控制伸缩机尾的收缩和伸出。为保证系统的稳定运行，当乳化液压力超过限值时，减压阀动作以达到减压的目的。

（五）支架防碰撞

采煤机记忆切割模式运行时，通过机器视觉方式及传感器检测方式相结合，对液压支架侧护板收缩情况进行感知，液压支架侧护板距离采煤机前滚筒 5 架时采煤机正常速度运行，距离 3 架时采煤机减速 50%，距离 2 架时采煤机停止运行。

（六）煤量自动监测

通过煤量扫描仪对通过刮板输送机和转载机的煤量进行扫描，通过对采煤机采高、行走速度、截深、电流、刮板输送机电流、电压、运行速度等数据采集和分析，实现刮板输送机实时煤量的计算，实时掌握刮板输送机的煤量数据，为刮板输送机运行过程中根据煤量自动调速提供数据基础。

（七）采煤机倾角传感器改进

将倾角传感器从油缸位置改进到采煤机机械摇臂，通过在采煤机机械摇臂上安装高精度的倾角传感器，能够及时准确检测机械摇臂的横滚角和俯仰角的动作信号，并通过数字方式，将监测到的摇臂角度数据，传送至操作系统，以便操作人员及时调整设备姿态。

（八）安全监控智能联动

实时监测综采工作面运、回上隅角、采煤机周围瓦斯浓度，将瓦斯浓度上传至采煤机综合控制平台，控制平台根据瓦斯浓度控制采煤机的运行速度。

三、智能化建设成效

（一）工效大幅提升，推行正规循环作业

一次采全高智能化开采设备的应用极大提高了劳动生产率，劳动组织由放顶煤开采时“三八制”调整为“四六制”，取消了夜班生产，并且实现了一周双休，原煤回采工效提升了 46.4%，日工效达到 145.8 吨/人，实现了“少时则安”的目标。

（二）减轻劳动强度，实现安全高效生产

一是一次采全高工作面相比放顶煤工作面减少了放煤工序，且通风断面增大，上隅角瓦斯得到有效管理；二是增设跟机自动化喷雾系统，有效降低了工作面煤尘；三是沿顶、底板回采，回采期间顶板更加稳定可靠，安全系数进一步提升。四是通过在地面控制中心或顺槽控制中心操控采煤作业，将工人从艰苦的环境中解放出来，从高强度体力劳动中解放出来，大幅度的降低了员工的劳动强度，保护从业人员安全健康。

（三）推进智能生产，实现减员增效

通过一次采全高智能化设备的应用，实现了在调度指挥中心、井下专用操作集控室即可实时监控、操作设备运行，进入割煤、拉架等自动化生产流程，直接减少生产环节流程及现场作业人员，实现了本质安全。综采队由原放顶煤期间的定员 124 人减至 87 人，生产班期间，集控室操作工 1 人，采煤机巡视工 1 人，支架巡视工 2 人，三机巡视工 1 人，胶带机巡视工 1 人，初步达到了减人效果。

（四）提高资源回收，增加企业经济效益

一是工作面回采率由放顶煤时 93%提升至 97%，增加 4%。多回收煤炭资源 11.1 万吨，按照全年预算煤炭价格 893 元/吨，将增加收入 9 900 万元；二是精煤回收率由放顶煤时 65%提升至 73%，提升 8%，精煤回收增加 21 万吨，按照全年预算精煤价格 1223 元/吨，将增加收入 2.56 亿元；三是矸石排放量减小，降低矸石排放费用。

案例 26 纳林河二号煤矿基于地质融合惯导的智能综采系统

主要完成单位：中煤西北能源化工集团有限公司

一、主要建设内容

（一）煤机路径规划

实现目标数据的刀数根据目标数据与现工作面数据对比确定，通过路径规划可实现工作面的平稳推进，当路径规划完毕后，艾柯夫采煤机在固定位置或启机位置向 IFC 系统发出数据请求，IFC 系统会将系统规划好的每一刀数据通过 Ethernet/IP 协议下发给煤机，至此便完成了煤机的路径规划割煤。在割煤过程中，煤机根据各支架处的规划数据结合煤机数据状态表，驱动煤机在工作面的各触发点执行相应指令，完成对煤层的路径规划切割。为了使割煤顺利进行，煤机在运动过程中会根据复杂的地质条件使用相应的传感器对煤机本身的动作和姿态作相应调整。割煤过程中，煤机因底板的变化产生横向或纵向倾斜时，煤机通过自身的倾角传感器进行倾角补偿，防止卧刀或漂刀，使煤机保持在合理状态。由于地质条件复杂多变，煤机运行的速度也会受到影响，集控台岗位工通过视频观察截割摇臂的抖动情况，在不影响自动化情况下对采煤机进行远程降速，实现煤机自动截割。

（二）三维建模

工控平台上位机可根据陀螺仪获取的当前工作面数据与目标刀数据进行三维建模，从而形成“三维数据模型”，在割煤过程中，marco 可通过读取煤机实时数据和陀螺仪反馈的煤机实时数据进行割煤。所有卧底量、提刀量、采高可通过 marcoifc 平台算法结合规划路径实现；在煤机司机跟机过程中，可根据实际割煤情况，通过支架控制器适当调整下一刀或后几刀的局部数据，从而生成新的三维模型。并且三维模型具有纠错功能，以保证工作面平稳推进。

（三）两巷超前支架自移

滑移支架自移：工作面胶运顺槽使用两组滑移支架进行超前支护，当工作面

推移机头完毕后，触发推移支架自动推移程序，第一组推移支架控制器报警并进行自移，自移时，第一组支架 1、3 组立柱作降移升动作向前移动一个步距，之后，2、4 组立柱做出同样动作完成自移。当第一组移动完毕后，第二组推移支架控制器开始报警并按照第一组推移支架移动步骤完成自移。回风超前支架自移：工作面回风顺槽使用 4 台垛式支架进行超前支护，当工作面推移机尾完毕后，自动触发垛式支架自移程序第一台推移支架控制器开始报警并进行自移，当第二次推移机尾完毕后，第二台垛式支架开始自移，然后第一台垛式支架再进行自移，以此类推。

（四）皮带自移机尾

当推移转载机触发推移油缸接近传感器后，皮带机尾自移系统通过配置电液控制器、跑偏传感器、立缸行程传感器、水平缸行程传感器、倾角传感器、实现自移机尾自动向前推移，并进行自动调平。

（五）设备列车自移

设备列车自移包括轨道自移、板车自移、全自动自移，通过时间参数控制抱闸、驱动、推移等动作。该系统具备：就地控制、遥控器控制、集控室远程控制三种控制模式，同时在设备列车上配备视频监控系统，将实时画面传输至集控室、地面调度中心进行整体监控，结合语音报警功能实现设备列车的智能自移。

二、技术特点及先进性

（一）“以架调溜”的自动调直方法

在回采时，上位机根据惯导与里程计的位姿检测系统形成刮板输送机曲线和根据液压支架推移杆信息形成液压支架曲线，并根据刮板输送机曲线与液压支架曲线对比计算下一刀的液压支架推移补偿量，从而实现工作面自动调直，井下试验结果为工作面自动调直的最大直线度误差为 30cm，攻克了因少推溜导致采煤机割支架顶梁而无法上刀的难题，如图 1 所示。

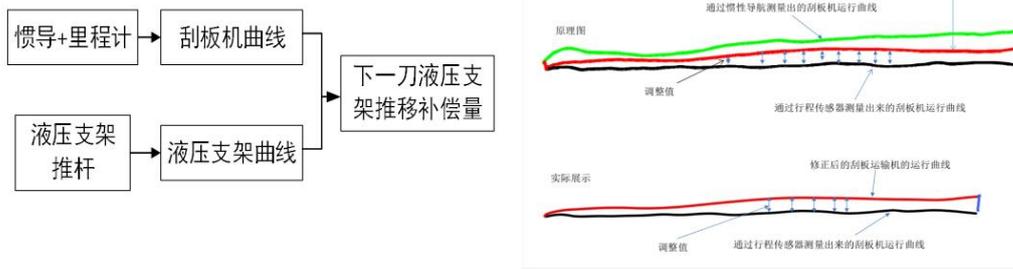


图 1 工作面自动调直流程

(二) 自动加刀和甩刀方法

针对工作面复杂煤层开采，提供一种自动化加刀和甩刀的工艺及系统，采用支架辅助的采煤系统，由采煤机、液压支架、刮板输送机组成，如图 2 所示。在割煤过程中，由于工作面的推进速度较快，出现的机头和机尾推进度不一致、输送机上窜下滑等问题，通过及时安排加刀和甩刀整工作面推进方向和推进度，保证工作面支架齐直。

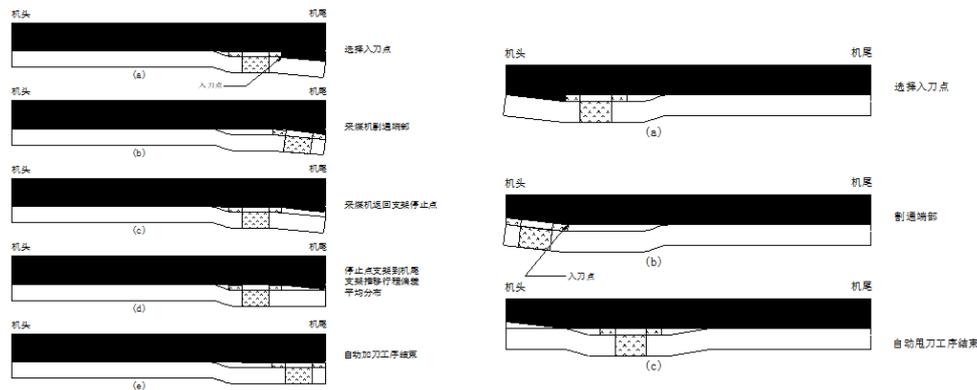


图 2 智能化采煤自动加刀和甩刀的工艺示意图

(三) 自动摆底调技术

通过人工巡视的方式掌握工作面推进时运输机的窜动、架型和架间距情况，根据采煤工作面的实际情况，在集控中心上位机合理的选择支架摆底调功能和控制模式对支架进行连续调整，直至工作面输送机、支架架型符合安全生产标准化要求。

(四) 两巷超前支架与端头支架自动跟机移架技术

根据综采工作面现场实际情况，决定自动跟机移架推溜动作的执行顺序，采用成组推溜方式，从第 16 架开始推溜。工作面煤壁和顶板条件较好时，无严重片帮和冒顶时，执行先移架后推溜；工作面煤壁和顶板条件较差，片帮和冒顶严

重时，工作面支架需全部拉超前架加强顶板和帮部支护，执行先推溜后拉架。通过工作面滑移支架和垛式支架，实现两巷支架按照预定模式向前自移。

（五）液压支架远程智能化控制研究

在顺槽控制中心对综采工作面液压支架进行单动作和成组动作控制，结合采煤机位置，两巷超前架、端头支架和中间支架均可实现自动跟机移架。对液压支架实施自动控制；对系统参数进行修改或程序进行升级；实时记录液压支架的运行状态参数，根据人工操作的工艺和动作，对实时运行状态进行模拟显示，历史数据查询。

（六）刮板输送机直线度精确检测技术

采用 RFID 射频，行程传感器实现工作面精确定位，以及辅助惯性导航技术修正的工作面精确定位技术，如图 3 所示。原理：采用 RFID 技术确定采煤机实时位置，通过编码器对由 RFID 技术确定采煤机位置校准工控平台推导出板运输机位置曲线，辅助以惯导技术对工作面刮板输送机位置曲线校准，实现工作面精确定位功能。

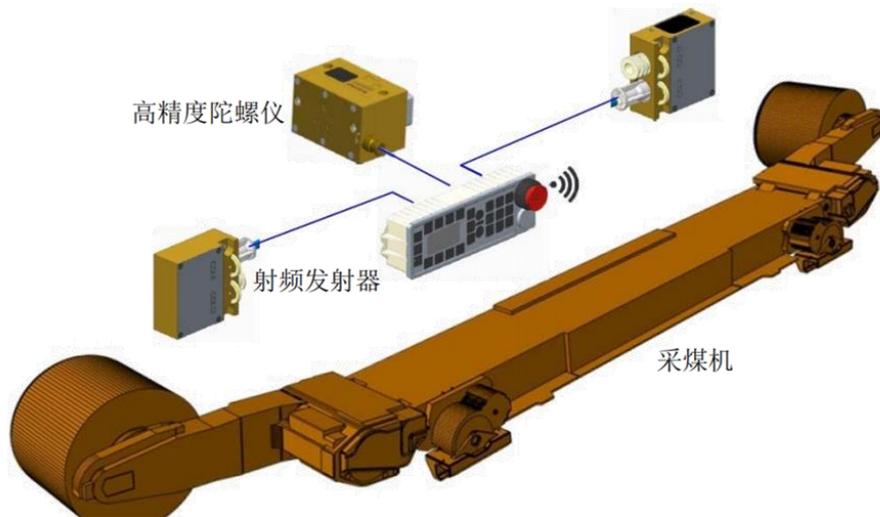


图 3 工作面精确定位技术

（七）工作面带式输送机自移机尾和纠偏技术

为了使皮带横向跑偏位移自动减少，防止皮带撕裂，同时提高效率和消除人员工作中的隐患和危险，提出了一种胶运顺槽皮带机尾横向跑偏自动调整方法，如图 4 所示，当跑偏传感器检测到皮带跑偏时，系统将尾端架的滑架收起，通过水平油缸将滑架沿跑偏方向推出并得到相应的补偿位移，之后将滑架落地并支

撑起尾端架，由水平缸推移滑座向偏移方向移动相应的补偿位移，皮带的跑偏位移与尾端架的补偿位移相互抵消，纠正皮带跑偏。整个过程都由系统根据传感器的反馈自动进行调节，提高效率并减少工作人员的危险程度。

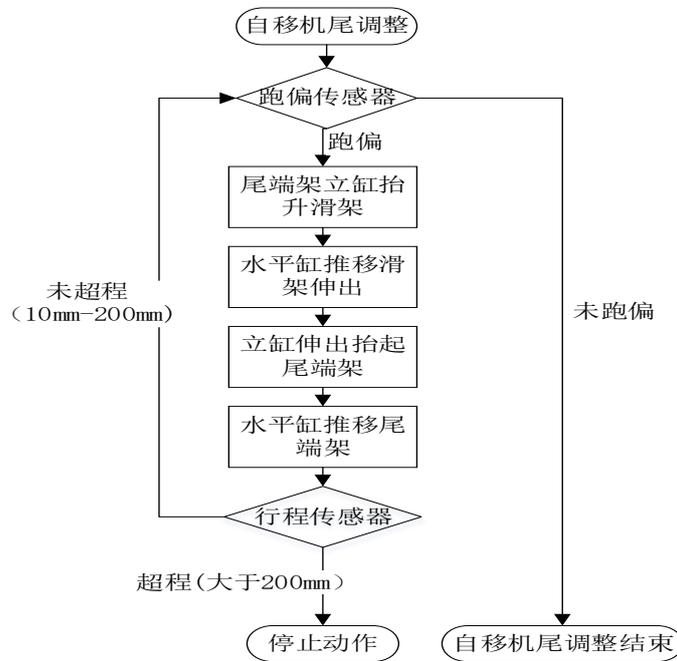


图 3 胶运顺槽皮带机尾横向跑偏自动调整方法

三、智能化建设成效

随着程序及工艺的进一步测试优化，从开始 3 小时 40 分钟割 2 刀煤，到稳定在 3 刀 3.5 小时完成，单班最大割煤刀数 7 刀。该智能化综采工作面实现了全工作面程序割煤和跟机自动化，普通综采工作面人工操作时，工作面正常作业人员至少需要 11 人，采用智能化回采后，工作面单班生产仅需要 5 人，煤机、支架巡视工 1 人、班长 1 人、机头、机尾巡检各 1 人、控制台需要 1 人，工作面人员主要是调整和监护设备运行，设备所有动作自动完成。项目的顺利实施，促进了煤矿开采技术的进步，探索了一条工作面智能化开采的路子，对探索中厚层工作面智能化开采的推广具有重大意义，同时也为解决蒙陕地区煤层具有冲击倾向性矿井地安全高效开采问题提供了新思路。

案例 27 王家岭煤矿智能化综放工作面

主要完成单位：中煤华晋集团有限公司

一、主要建设内容

以“智能放煤机理-智能放煤方法与工艺智能放煤控制技术-智能放煤系统装备-工程示范”为主线，基于厚煤层综放开采顶煤体破碎与冒放机理、采放协调控制机理与方法和放煤过程控制原理，研究了厚煤层协同智能放煤工艺决策、多模式融合的智能放煤控制机理，并研发了智能协调控制关键技术与装备，建立智能综放工作面示范工程。先后经历 12309、12302、12313、12303、12315 和 12316 六个工作面应用，提高综放工作面智能化水平，达到减人提效增安的目的。主要建设内容如下所示：

（一）采放机理研究

基于有限差分及颗粒流耦合数值方法，利用 FLAC3D 及 PFC3D 数值模拟平台，借助 Fish 语言编程，开发了以“随机自由落体-逐步伺服夯实”的耦合建模方法、“实时压力监控-支架自动增阻”的放煤支架全历程模拟方法、“煤矸动态识别-自主关窗判别”的放煤控制数值模拟方法为核心的采、放动态全历程一体化模拟技术，为后续综放开采基础理论的研究提供了技术支撑。依据采放协调工艺原理，确定了智能综放面割煤速度、放煤时间、不同位置放煤口数目，获得了综放工作面产能、时间协调关系。

（二）大数据专家决策系统建设

鉴于设备采集的数据来自不同系统，且不同系统间无论是结构还是数据收发方式都有一定区别，数据结构也未有统一标准，因此大数据健康管理平台采集过程中需要对多元、多系统数据进行异构处理，形成统一的数据源和数据格式，便于系统分析和调用。案例采用 StreamSets 实现数据交换平台，外出系统外部数据源到结构化数据库的数据交换和同步。建立的大数据专家决策系统（如图 1 所示），实现对工作面设备数据的价值挖掘，系统具有故障诊断、预警、自学习等

功能，构建设备全生命周期健康监测模型，减少生产过程设备故障率，间接提高生产效率。



图 1 大数据专家决策系统

（三）井上下协同控制系统建设

通过大量实践，综放工作面智能化开采技术研究与应用将采煤机控制系统、支架电液控制系统、工作面运输控制系统、三机通信控制系统、泵站控制系统及供电系统有机结合，实现对综合机械化综放工作面设备的协调管理与集中控制，如图 2 所示。采煤机以记忆割煤为主，人工远程干预为辅；液压支架以跟随采煤机自动序列（前端跟机开采、后端跟机放煤）动作为主，记忆放煤、多轮放煤、远程放煤控制为辅；综采运输设备实现集中自动化控制。本案例实现了集视频、语音、远程集中控制为一体综采工作面装备远程控制，实现工作面采煤机、刮板运输机和自动化放煤等设备的联动控制和关联闭锁等功能。



图 2 井上下协同控制系统

主要工作经验如下所示：

- 1.建立“产-学-研”闭环技术发展模式。软硬件设备依托中煤集团装备制造优势保障设备稳定运行，各项技术依托中煤集团研究院技术支持推动生产工艺的

革新，“采放机理”、“自动放煤”等技术依托国内采矿智能院校重难点攻关。以生产应用为导向，推动智能化技术落地生根。

2.建立以主要领导为核心的工作组，倒排时间节点，下发管理制度，稳步推定工作面智能化建设。制定《智能化常态作业推进方案》，针对使用率、应用效果等指标设置进阶性奖惩机制和后评价机制，持续提升智能化设备及系统的可靠、适用，把减员、提效、增安落到实处。

3.建立技术反馈优化机制，依据生产过程优化各项技术。例：惯性导航系统加装减振装置与后备电源，并增加数据维度，提高惯性导航系统精度与稳定性。

二、技术特点及先进性

1.顶煤破碎及运移全历程模拟技术

传统的放顶煤模拟技术采用采、放单独工况进行计算，无法实现支架与围岩的耦合作用过程，本案例基于有限差分程序，开发了放顶煤液压支架工作阻力全历程模拟方法，获得了高水平应力条件下顶煤主应力驱动路径；结合工业 CT 扫描数据为基础，运用 Sobel 均值滤波及空域锐化算法，采用 Matlab 程序开发了原生裂隙三维重构方法，借助 PFC3D 程序，建立了裂隙煤体三维数值模型，基于顶煤应力边界条件，反演了其裂隙演化过程。

2.采放协调智能放煤工艺及方法方面

国内外关于采放协调工艺的研究多依据采放协调工艺原理，确定了智能综放面割煤速度、放煤时间、不同位置放煤口数目，获得了综放工作面产能、工序间的协调关系，而本案例在此基础上，建立了综放工作面煤机不同运行阶段割煤、移架、放煤等主要工序位置协调关系，为智能化综放工艺参数设计提供了依据。

3.智能化放煤控制关键技术与装备方面

本案例基于煤矸振动信息特征，研制了煤矸识别传感器，设计了多元放煤控制功能模块；构建了高仿真度工作面三维虚拟现实与人员智能定位感知的智能化放煤辅助系统，实现了综放工作面智能化放煤全景展示。研发了顶煤精准预探测空间扫描技术、支架放煤机构尾梁、插板精准测量与整体姿态三维展示技术，建立了支架放煤机构防碰撞模型，实现了厚煤层综放工作面放煤机构精准监测。研

发了一套基于放顶煤开采技术的惯性导航系统，实现了横滚、水平、俯仰三个方向精度均小于 50mm；基于 SparK 技术的 SVM 算法，有效解决了工作面综采设备无效数据的过滤和有效数据的提取，实现了对综采设备的工况数据的有效采集和分析。

三、智能化建设成效

1.采煤工作面实现减人 30%，工效达 181 吨/工，达到了矿井减员提效的目的，同时将职工从操作工变为巡视工，并从危险的工作采场解放到相对安全的监控中心，在进一步节约了人工投入的同时，全面提高生产作业安全性。

2.采用智能化综放技术后，生产能力较之前有明显的提升，年生产能力提高了 96 万 t/a。

3.综放智能化综采技术的成功应用，标志着智能化技术在除薄煤层、中厚煤层以外，厚煤层综放工作面的全方面的应用，形成了覆盖智能化开采完备的示范工程体系，为行业、国家国家和煤炭行业推广智能化少人开采技术扫清了障碍。

案例 28 转龙湾煤矿中厚超长千万吨级智能综采工作面

主要完成单位：山东能源兖矿能源集团股份有限公司

一、主要建设内容

（一）项目背景及目标

1.项目背景

煤矿产业的快速发展引进了越来越多的现代化技术，而本身的开采技术也在不断开发与完善，在“十三五”期间，我国的煤矿行业成功攻克了智能化开采技术难关，研发出综采成套智能控制系统，实现了无人现场操作的智能化开采作业。山东能源集团、兖矿能源集团和鄂尔多斯公司根据转龙湾煤矿中厚煤层占整个资源储量的 38% 的实际情况，明确了实施中厚煤层智能高效开采战略思路，要求矿井在实现均衡生产、延长矿井年产 1000 万吨服务年限和中厚煤层智能化开采、提升矿井核心竞争力上“走在前、做表率”。

2.项目目标

- （1）建设一个高产高效的中厚煤层超长智能化综采工作面。
- （2）培养一支能够熟练应用自动化采煤工艺、熟练掌握自动化系统设备使用标准的专业队伍。
- （3）培养一批素质高、能力强、精通自动化工作面系统的专业技术人员。
- （4）探索一条可复制、可推广的高产高效中厚煤层自动化采煤工作面创建模式。

（二）研究内容

本项目的研究重点包括液压支架自动跟机移架技术应用，采煤机程序化割煤技术应用，高链速刮板输送机、转载机技术应用，高链速刮板输送机自动张紧技术应用，工作面直线度检测及自动找直功能技术应用。完成综采智能化工作面工程示范应用，实现超长中厚煤层综采工作面高产高效及智能装备的稳定可靠。

2022 年 4 月在转龙湾煤矿 23301 工作面建设完成（图 1），实现工作面设备

远程集控、视频监控功能，采煤机实现全工作面程序化自动割煤，割煤速度平均15m/min，液压支架全面实现中部及三角煤自动跟机移架功能，跟机率达到100%。



图1 智能采煤工作面

（三）工作经验

1.人员培训问题。重点解决矿管理人员认知问题，区队及技术人员认识问题，现场操作人员的熟练程度问题。一是根据自动化工作面建设工作的推进进度，适时组织相关专业理论培训，按层级分别对矿层面的管理技术人员、区队管理技术人员、区队岗位人员进行培训；二是根据不同层级制定培训内容，分别从自动化系统架构设计、自动化工作面各子系统功能原理、具体设备构成、设备安装标准、设备使用标准、设备检维修标准等方面进行不同层级管理和操作人员培训。进一步提高人员对系统的认识程度；三是培训以现场实际操作为重点，开展系统维护、故障判断分析、维护重点培训，培训人员明确学习重点，逐步提高人员操作熟练性。

2.人员协调问题。统筹协调矿管理人员、技术人员及区队实操人员，一方面解决由于安装调试期间两面正常生产，一面安装调试带来的人员短缺问题，另一方面确保管理、技术和实操人员不间断全流程参与自动化工作面建设，避免带来培训实践盲区，确保投产后三班连续性自动化生产。

3.过程管控问题。每天组织自动化建设推进协调会，统计每天工作计划落实情况，研究解决自动化推进过程中遇到的问题，制定下一步工作计划，确保问题

得到及时有效解决。

二、技术特点及先进性

根据中厚煤层高产高效自动化采煤工作面总体工作要求，矿井从技术论证、工作面设计、装备配套、设备改造等各个方面开展创新研究。

（一）液压支架方面

一是供液系统方面，为保障工作面液压系统整体供液压力和流量，泵站至工作面分别建立 3 路供液管路和回液管路，同时在工作面内布置 7 路供回液分支，形成“三进三回、五路分支”的供液系统，有效保障供液质量稳定可靠；二是程序优化方面，通过优化阻尼阀介入距离（由 300mm 改为 350mm），有效提高了液压支架自动找直的精准度；三是参数设置方面，通过优化液压支架自动跟机 61 个关键参数，调整抬底和降抬底延迟时间等方法，实现支架动作的快准稳，单架移架时间全部控制在 9s 以内，完全满足采煤机 15m/min 的截割速度，无丢架现象，图 2 所示。



图 2 智能采煤电液控信息系统

（二）三机控制方面

一是选用高链速和大功率刮板输送机和转载机，解决运输系统运量低、转载机入料口卡堵问题；二是升级刮板输送机机尾自动张紧系统，融入自动张紧控制算法，提升了刮板的精准监测和控制能力，实现链条自动张紧基于负载信息随动控制，形成更加符合现场的自动张紧功能；三是通过增加断链保护装置，有效降低了刮板输送机断链风险；四是配备工况监测系统和健康管理系统，通过对三机减速箱进行实时数据采集和分析，实现故障报警和关键零部件维护提醒功能，如图 3 所示。

（三）采煤机方面

选用生产能力高（截割功率 610kW）、智能化功能全的采煤机，具备 8 种智能割煤工作模式。

1.采煤机

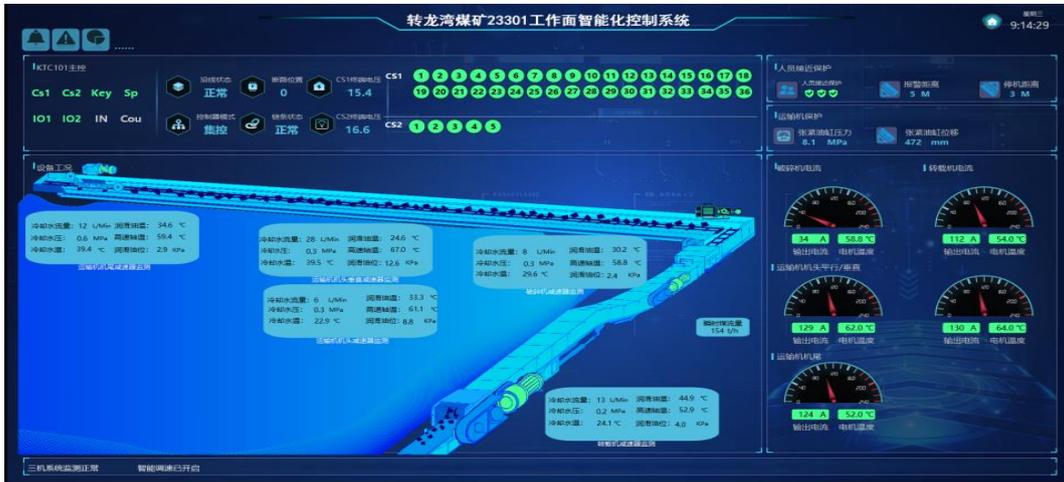


图 3 智能采煤三机控制系统

通过采集采煤机在工作面不同位置的割煤速度和刮板输送机、转载机煤流淤煤次数，制定出符合现场实际的采煤机状态表，实现了煤流运输系统平稳运行。采煤机滚筒装配弧形挡煤罩，实现在工作面不同位置自动切换状态从而有效提升采煤机装煤效果，如图 4 所示。



图 4 采煤机控制系统

2.LASC 自动找直

液压支架全部安装高精度行程传感器和液压阻尼阀，通过电液控系统与 LASC 惯性导航系统无缝配合，有效实现精准的工作面自动调直功能。现场采取 4 刀循环（学习刀、下放刀、执行刀、效果刀）模式进行找直，经过不断调试，

达到了 420m 工作面最大偏差值 50mm、平直度 99.95%的找直效果，如图 5 所示。

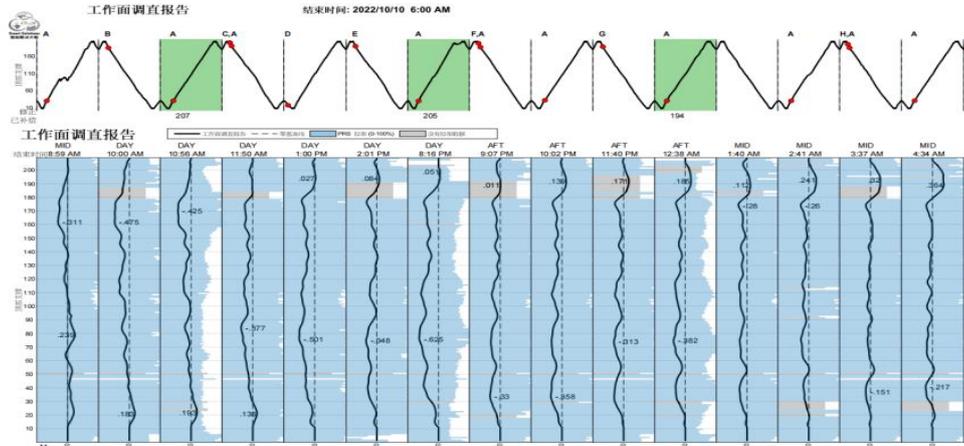


图 5 智能采煤系统自动找直

3.3D 可视化建设

利用工作面 3D 虚拟现实和实体仿真技术建立工作面模型，确定采煤机、液压支架几何尺寸，通过采煤机俯仰角度传感器及支架倾角传感器检测的数据，能够再现工作面的实际设备位置关系，实时反映工作面设备运行状态，从而辅助工作面生产管理，最终建成“面内少人巡视、顺槽远程干预”的智能化采煤工作面，实现面内 2 人生产，进一步提高了生产工效，如图 6 所示。



图 6 智能采煤系统 3D 实景仿真

三、智能化建设成效

23301 智能化工作面建设成功以来，已三班常态化运行 6 个月，工作面每天自动化割煤刀数最高 25 刀，日最高产量 4 万 t，工作面支架工由原来 4 人减为 1 人，正常生产人数不超过 2 人，达到了减人增效的目的，满足矿井中厚煤层高产高效的生产要求，智能化水平达到国内外领先水平。相比常规综采工作面产量提

升 359%以上，即每天提升产量 3.13 万吨，按照吨煤利润 400 元，累计生产 6 个月计算，创效： $3.13 \times 400 \times 30 \times 6 = 22.54$ 亿元。

本项目各项指标均已达到国内外领先水平，在支架自动跟机移架，采煤机程序化截割、端头自动化、综采设备智能协同调速运行等主要技术指标方面优势明显，实现了全工作面综采设备智能化协同运行。成套的综采智能控制技术与装备等创新成果可在更多中厚煤层综采工作面进行推广应用。

案例 29 黄陵一矿基于透明地质规划截割的智能开采系统

主要完成单位：陕西陕煤黄陵矿业有限公司

一、主要建设内容

黄陵矿业公司在实现传统记忆截割智能开采的基础上，另辟蹊径从基于透明地质模型建立、大数据精准决策平台、装备精准控制这个新思路进行探索攻关，开展透明地质规划截割智能开采技术研究与实践。

（一）关键技术及建设情况

1. 关键技术

（1）综采工作面动态三维地质模型构建技术。利用多源数据融合系统，实现钻探、物探、测量数据的耦合分析。基于隐式迭代三维建模技术构建高精度多属性动态地质模型。通过规划截割系统对三维模型进行“CT”剖切，提供规划截割曲线。通过数字孪生系统，搭建三维虚拟场景配准地质与设备模型，将真实开采工况映射至赛博空间。

（2）智能精准开采控制技术。通过流程管控、精准开采控制、自动化控制、规划参数控制等系统，根据规划截割模型控制采煤机自主完成截割高度、运行方向、运行速度、折返换向点的精准执行；液压支架自主完成中部与三角煤部分的规划控制精确跟机、拉架、推溜，实现全工作面设备根据规划截割模型生产循环的自主执行。

（3）综采大数据智能分析决策技术。根据透明地质模型“CT”切片、开采工艺、设备工况等数据分析决策出最优的生产信息，建立规划截割模型并传递至智能精准控制系统。通过大数据运营、地质数据分析、采煤工艺决策、采煤机规划、电液控规划等系统指导全工作面设备自主规划截割。

2. 建设情况

2020 年 3 月在黄陵矿业一号煤矿 810 工作面实施，4 月完成巷道测量、槽波地震勘探、钻孔探测，构建了工作面三级静态模型。2020 年 5 月进入工业性试

验阶段，8 月项目通过陕煤股份公司组织的专家验收。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1.研发了隐式迭代算法的三维建模技术，构建了综采工作面高精度地质模型。

（1）提出了以综采工作面为研究对象的综合探测与分析方法，包括煤层厚度统计分析、煤层厚度变异系数分析、煤层倾角变化分析、煤层厚度变化趋势分析、地质异常体分析，准确预测工作面内异常构造体，为智能开采提供地质保障。

（2）基于地质写实、钻孔雷达探测、槽波地震勘探收集数据，进行数据分析，构建综采工作面静态地质模型（图 1）。

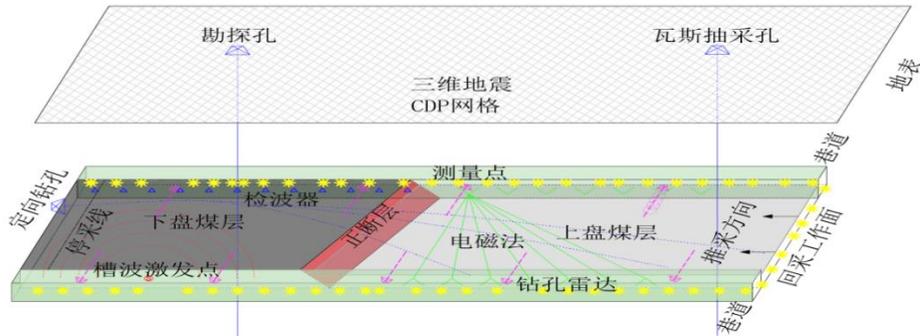


图 1 建模数据来源

（3）研发了隐式迭代建模、动态更新算法，通过开采过程中采煤机采高、惯性导航俯仰角等监测数据，实现对静态地质模型的动态更新，更新后模型精度误差 150mm 以内（图 2、图 3）。

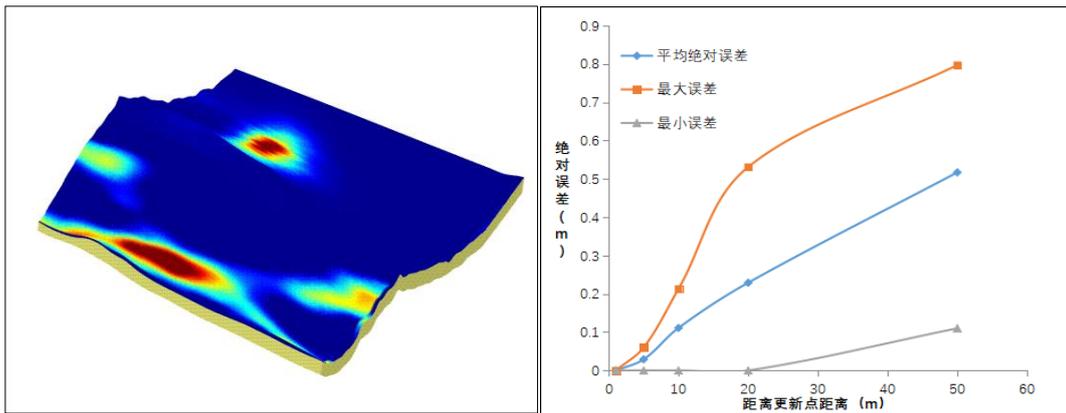


图 2 更新后的模型图

图 3 更新后的模型分析结果图

2.首创了一套可“预测、预判、预控”的综采大数据智能决策平台，实现大数据技术在生产决策中的应用。

（1）研发了基于地质模型对综采设备智能精准控制和空间感知的大数据分

析、决策应用平台（图4）。搭建高性能大数据集群设备，构建针对综采工作面地质、设备和感知数据的高可靠、高通量、高运算量、高精度的大数据分析决策平台。开展大数据融合、模型数字化、分析决策、机器学习等技术研究，实现对地质模型、综采设备、空间感知的海量数据融合应用、自主分析和精准决策。

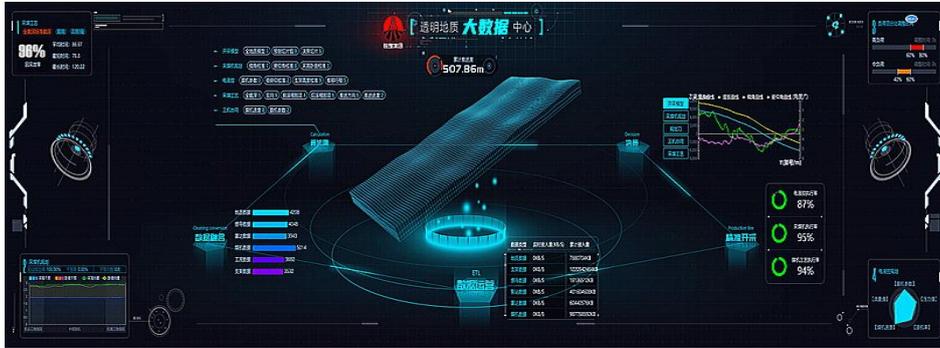


图4 大数据智能分析决策平台

(2) 开发了IMS-P智慧矿山综采智能化管控系统平台（图5），对透明地质模型与综采设备进行坐标统一和相对坐标传递。应用惯性导航技术，实时测量刮板输送机的直线度和采煤机在三轴方向的位移变化，为工作面自动找直和精准定位提供技术依据。应用激光雷达测距技术，实时监测运输机机头和机尾距两巷煤帮的距离，得出工作面整体姿态（进尺、上窜下滑量），为工作面调整的精准控制提供决策依据。扫描识别两巷安装的雷达反射板，实时监测工作面推进度，实现综采设备在透明地质模型中的精准导航和定位。

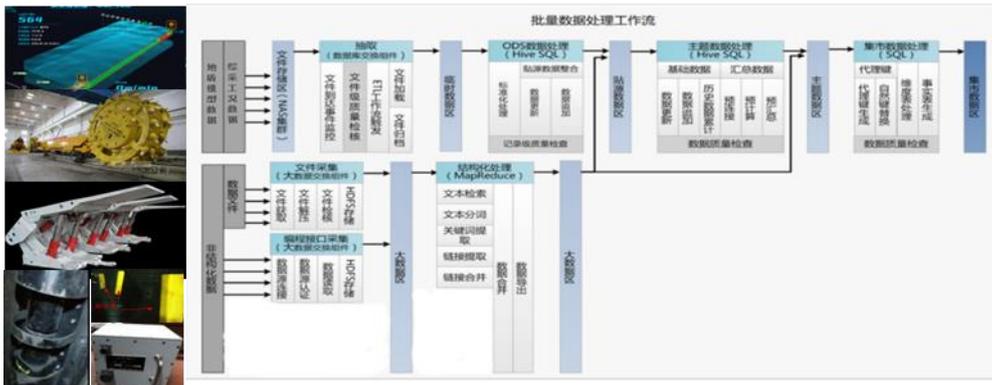


图5 智慧矿山综采智能化管控系统平台

(3) 设计了一种集聚合、插值、补偿、无界流的机器学习算法，实现对综采工作面规划截割模型的决策优化和透明地质模型的动态更新修正（图6）。

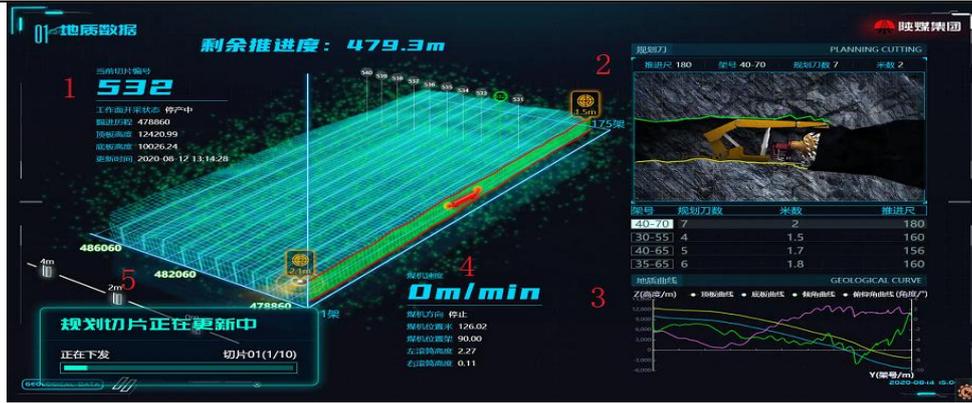


图 6 地质模型的动态更新修正

3. 首创了基于“CT”切片技术的精准控制方法，实现工作面无人开采。

(1) 构建了智能化综采工作面精准控制中心，研发了精准控制系统(图 7)。



图 7 综采工作面精准控制中心

(2) 研发了基于透明地质模型的“CT”切片技术，生成规划截割模型(图

8)。

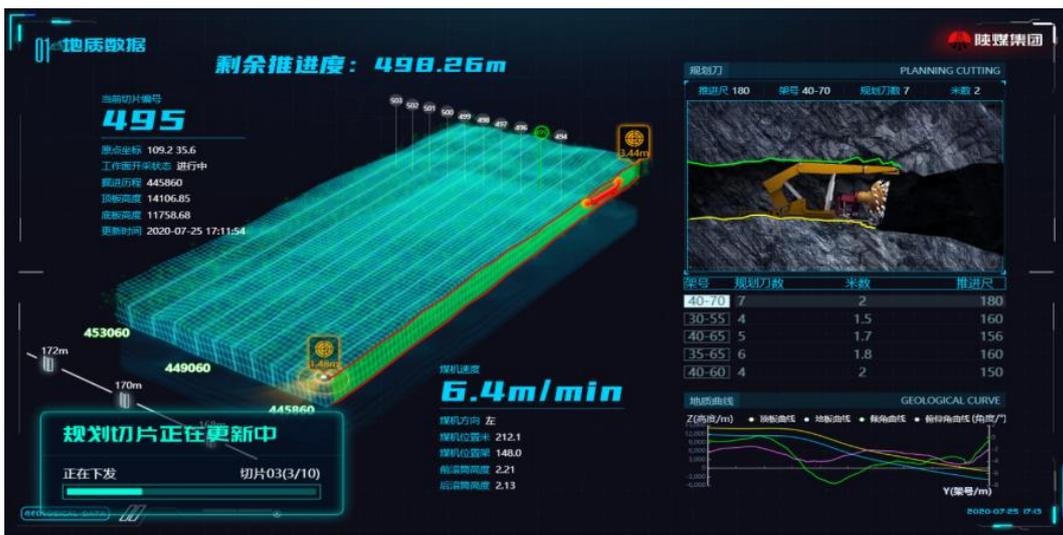


图 8 地质模型“CT”切片技术

(3) 设计了一套拟人化的自主规划截割开采工艺，形成采煤机 22 道规划截

割工艺和液压支架 14 道规划控制工艺（图 9）。



图 9 规划截割工艺和规划控制工艺

(4) 创新了全工作面无人干预规划截割的生产模式，实现了无人化开采（图 10）。



图 10 全工作面规划截割生产模式

(二) 实现的主要功能

1. 实现了精准控制中心对工作面设备的工况监测与远程控制功能，并可以按照逆煤流顺序“规划”启停。

2. 实现了利用隐式迭代建模、动态更新算法等技术对工作面静态三维地质模型的动态更新。

3. 实现了利用“CT”切片技术生成规划切割曲线功能，切割曲线包括有等间距网格点的煤厚、顶底板倾角、俯仰角等信息；并根据反馈的当前工作面切眼实际位置，自动生成之后 10 刀的规划曲线。

4. 实现了根据透明地质模型和综采设备的工况监测数据和开采工艺，利用大

数据机器学习、数据聚合、插值、补偿、无界流等算法对规划截割模型进行实时修正，形成高精度的规划截割模型。

5.利用惯性导航技术、雷达测距技术和大数据算法，实现综采工作面在三维地质模型中的精准导航、定位和工作面自动找直。

6.利用雷达测距技术，可以测量运输机机头机尾距两侧巷帮的距离，大数据中心利用实时测量数据，提示进行上窜下滑控制。

7.实现了利用数字孪生系统，对工作面主要设备以及虚拟巷道进行实时展示。

（三）技术优势及推广应用情况

该技术首次实现大数据分析决策技术在煤矿综采作业中的应用，增加了智能控制系统的“自动分析、提前预测和自主控制”功能，全面提升智能开采技术在复杂地质条件下的自适应调整能力，具有很强的推广应用价值，同时也为高新技术在煤矿生产决策中的深度应用进行了有益探索。该技术的成功实践，实现了由传统的记忆截割向三维空间感知、智能规划和自主截割的技术跨越，带动了我国在煤机装备自动化、智能化方面的整体技术进步，为建设大型现代化矿井提供了保障，有力的推动了我国煤炭工业的转型升级。

三、智能化建设成效

1.该技术的成功应用后，工作面实现了无人开采，彻底将工作面巡检人员和远程监控员解放出来，减人增效成绩显著。

2.生产过程中大大减少了干预控制和调整作业时间，生产效率提升约 30%左右。

3.实现了由传统的记忆截割向三维空间感知、智能规划和自主截割的技术跨越，全面提升智能开采技术在复杂地质条件下的自适应调整能力，对推动煤炭行业智能化开采技术进步具有重要意义。

案例 30 新巨龙煤矿智能化采煤工作面

主要完成单位：山东能源鲁西矿业有限公司

一、主要建设内容

2020 年 11 月初，以 6305 智能化采煤工作面为建设重点，成立领导小组，抽调机电运输、生产技术以及基层单位骨干人员，组建技术攻关、安装调试、现场施工“三个专班”，并组织相关部门至先进智能化煤矿进行多次调研、论证，结合采场条件，按照“重型化、智能化、引领性、可靠性”的选型目标，对液压支架、采煤机、刮板运输机、顺槽带式输送机等设备进行全面升级，6305 智能化工作面记忆截割、跟机移架、自动割三角煤实现了常态化运行。聚焦装备升级、管理提升、科学治灾三条主线，凝心聚力、合力攻坚、全速推进 6305 智能化工作面建设步伐。

1. 液压支架重型化，促进支护强度提升

工作面液压支架工作阻力由 15000kN 升级为 18000kN（图 1），支护强度由 1.49MPa 提高至 1.7MPa，立柱、千斤顶采用激光熔覆、镀铜锡合金等防腐工艺，应用 5 级精密过滤水处理装置，消除乳化液配比用水中的杂质，为工作面提供高质量的纯净“血液”。

2. 采煤机高功化，促进截割效率提升

采煤机由 MG620/1540-WD 型升级为 MG900/2400-WD 型（图 2），截割功率由 620kW 提高至 900kW，同时配高强度、高抗压弯摇臂及破岩型截割滚筒，提升了截割效率。



图1 工作面工作阻力 18000kN 的液压支架



图2 MG900/2400-WD 型采煤机

3.原煤运输高效化，促进运行效率提升

刮板输送机中底板全部使用 HARDOX（悍达）450 型耐磨钢板（图 3），厚度由 45mm 增加至 60mm，过煤量可达到 600 万 t 以上。顺槽带式输送机选用 DSJ140/300/4×500S 型带式输送机（图 4），带宽 1400 mm，带速 4m/s，运输距离 1920m，运输能力 3000t/h。采用“永磁电机+变频器”驱动方式，能够实现带式输送机由 0~4m/s 的智能调速运行，相比传统带式输送机节能降耗 35%以上。



图3 工作面刮板输送机



图4 DSJ140/300/4×500S 型带式输送机

4. 供电供液远程化，促进安全环境提升

集中配电点、泵站布置在大巷车场，采取远距离供电、供液模式。乳化泵流量由 630L/min 升级到 800L/min，供电、供液距离均达到 3500m 以上，远离动压区，实现了“一点多面式”供电、供液（图 5）。



图5 “一点多面式”供电、供液

二、技术特点及先进性

（一）强化意识形态，筑牢思想防线

真正树牢“办矿先治灾”的理念，坚定不移走专家治灾、技术治灾、超前治灾、管理治灾之路，坚持将区域治理与局部治理、井下治理与井上治理有机结合、全盘分析，确保灾害可预、可防、可治。

（二）强化卸压效率，筑牢装备防线

引进 CMS1-4500/55Y 煤矿用深孔双臂伸缩式卸压钻车，实现了 200m 远距离全遥控操作、系统故障自诊断、一次稳钻施工 4~6 个钻孔、液压系统快速推进等功能，保证工作面快速高效卸压。

（三）强化数据分析，筑牢监测防线

1.升级防冲预警台网

实现了监测系统双电源自动切换、应力系统 UPS 备用电源三重电路供给，形成了“动载+静载、区域+局部”的防冲全要素、全时段、全频段、全领域的监测预警管理模式（图 6）。



图 6 冲击地压防治监控系统

2.应用井下槽波地震勘探技术

精细探查开采区域断层等地质构造，认真分析槽波投射能力 CT 图及反射剖面，地质保障作用不断强化。建立底板突水监测预警系统。通过在上、下巷安装监测分站 2 个、电极 95 个，实现底板突水预警的动态监测，为开采期间防水安全提供保障。

3.建立地表沉降自动监测系统

安设 25 个 GNSS 地表沉降自动监测点，实现地表沉陷的在线监测（图 7）。

4.建立 KJ1234 防火监测系统

采用多参数传感器就近取样分析，监测数据无线数字传输，每月可减少防火观测工入井个数 60 个。

（四）强化措施落实，筑牢治灾防线

多梯次卸压，保障安全稳采。通过实施“超前长距离预卸压、坚硬岩石顶板爆破卸压、断层应力区加密爆破卸压、厚底煤短柱卸压”等措施，防冲卸压工程始终超前工作面 300m。

全方位降温，实现舒适开采。建立了以 WAT 集中制冷降温为核心、地面冷却水及井口全风量降温为辅助的“风冷并举、三位一体”联合制冷模式，工作面通风量控制在 $2000\text{m}^3/\text{min}$ 左右，上出口进风温度控制在 22°C ，有效保证了工作面舒适开采。

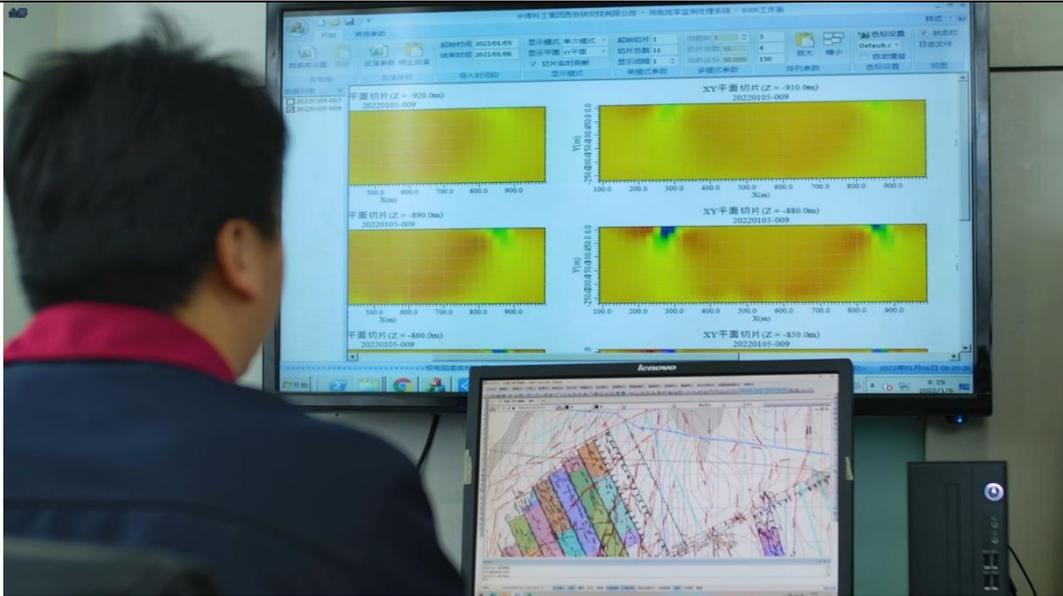


图 7 地表沉陷的在线监测系统

三、智能化建设成效

（一）实现减人提效

1.减少生产人员。通过跟机移架、记忆截割、自动割三角煤等基本功能的常态化运行，实现“7+5”（7人生产，5人梯队培养进行文明整治及端头放煤、浮煤清理等工作）生产模式，每天减少8人，吨煤工效提升81.25 t/工。

2.减少检修人员。通过设备运行数据监测分析，改变传统检修模式，创建“每天少时精准检修，三天周期集中检修”新模式，检修效率不断提升。其中：刮板输送机应用远程变频及设备健康系统，实现了设备精益管理、精准检修，每天可减少运输机维护人员2人。顺槽带式输送机采用全硫化工艺+重型热浸镀锌支架+高分子托辊，提高带面服务寿命，每天可减少维护人员2人；利用AI智能摄像机配合线型激光标定光源方式，实现智能调速、杂物识别及预警，每班可减少巡查人员1人。

3.减少固定岗位人员。一是工作面风机、排水点等零星地点用电设备，全部接入集中控制系统，实现远程操控，每班可减少岗位工1人。二是工作面供电供液通过实时监测、远程控制等功能，每班可减少岗位工1人。

（二）营造安全环境

1.单元支架安全便捷。工作面两巷采用迈步式支架配合单元支架支护，沿空巷道超前支护距离达400 m以上，实体巷道超前支护距离达120 m以上，利用自

主改造的便携快插电液控控制器和调度单轨吊，实现单元架远距离升降、快速挪移，提升安全系数。

2.封闭限员区域实现“三无”。工作面两顺槽限员区域分别安装内外智能门禁，通过地面集控中心及人脸识别系统，达到生产班次封闭区域“无人化”；同时结合矿井“半小时运输圈”，防冲区域内实现“无料场”、“无备品备件”。

3.设备危险区域安装“能量隔离”装置。采煤机滚筒接近保护、转载机机械和人员精准定位双重闭锁保护、带式输送机驱动部红外隔离保护，实现了工作面危险区域人员安全管控。

案例 31 小保当煤矿 450m 超长智能开采工作面

主要完成单位：陕西陕煤榆北煤业有限公司

一、主要建设内容

针对中厚煤层小采场开采效益较低，以及工作面加长后顶板控制难度大、工作面装备配套复杂、安全保障函待革新、装备稳定性和可靠性较低等问题，采用 450m 智能化超长工作面方案实现小保当二号井 2~3m 煤层年产 10Mt/a 的目标，实现了工作面“顶板可控可预测”、“智能开采提效率”、“高速截运创效益”，形成了 2~3m 中厚煤层 450m 千万吨智能化超长工作面成套装备及关键技术。

（一）超长工作面高速截割智能控制工艺

针对生产过程中煤机从机头开向机尾时煤与矸石堵塞煤机，煤机与运输机逆向行驶时煤机速度难以掌控、运输机负荷过载，严重制约生产效率的问题，创新提出了“分段控速”的采煤工艺，即在工作面前半段煤机高速割煤、后半段煤机降速，从而控制运输机负荷。为了控制运输机煤量达到跟机推溜的效果，创新提出前半部分推一半刮板输送机跟紧煤机、随后推出另一半的分段推溜模式，满足跟机需求的同时又能有效控制煤量。通过融合工作面液压支架的采高、倾角、推移行程、支架动作时的姿态，对液压支架移架及推溜过程进行建模，实现刮板输送机直线推移。

（二）超长工作面高可靠性支-采-运和控制成套装备与系统

采用中煤科工开采研究院研发设计的 ZY16000/18/32 D 型液压支架，实现了自动补压、自适应支护、姿态调整、人员定位、辅助降尘等功能，联合泵站实现了智能供液。工作面具有自动调直系统和精准拉架推溜控制，配合 360°高清视频监控，实现了自动化、可视化、节约化的高级智能综采工作模式（图 1）。国产 MG750 / 1940-WD 采煤机具备高速牵引与高速截割，并提升了关键零部件使用寿命，解决了智能综采高清视频传输、低延时控制响应、自动化长效运行、快速便捷运维等关键问题，工作效率提高了 18%，各项性能指标均达到国际领先水平。

国产 SGZ1100/3×1400 刮板输送机能够定时检测记录刮板机链条伸长量、磨损量，实现设备全生命周期管理；具有煤流负荷检测和链条自动张紧功能，有效减少刮板输送机断链压死等停车风险。国产 SAM 型自动化控制系统实现了对工作面采煤机、液压支架、刮板输送机、泵站等远程一键启停；建立了智能化工作面大数据“一张图”模式，在远控模式下监测采煤机、液压支架、刮板输送机等运行情况，实现了“透明工作面”。



图 1 智能化超长工作面监测系统

（三）基于真实数据驱动的监控系统

基于高精度、高可靠性传感系统开发的智能截割软件，实现了全作业循环的智能截割、循环记忆截割。可修改参数配置，实现工作面采煤机、液压支架数字孪生应用（图 2）。通过数字孪生技术构建了井上下协同控制系统，辅助远程开采决策及控制。支持支架动作的三维展示，实时反应井下支架状态、采煤机的实时位置和速度，并能指导截割工艺的修订。建立了机-液耦合移架运动学模型，分析移架运动学规律，辨识移架速度关键影响因素，为大流量智能供液系统和高压升柱系统提供决策。



图 2 三维可视化开采工艺和装备动态配套

450m 高度智能化超长综采工作面的探索与实践，创新提出了“全培训”、“全岗位”“全能力”的“三全”管理理念，首创“一人多岗、一岗多能、混搭使用”新模式，减少用工 60%以上，为中厚煤层冲击“一人一面一千万吨”目标高效生产提供了“中国方案”。

二、技术特点及先进性

本案例建成了全球首个高度智能化 450m 超长综采工作面，形成了具有自主知识产权的首套国产 450m 超长工作面成套技术与装备，主要技术特点如下：

1.针对中厚煤层高效开发、大功率需求与小空间、小功率之间的矛盾，创新提出中厚煤层智能化开采模式；建立了基于液压支架承载特性和弹性独立支座的支架群组岩梁模型，确立了超长工作面液压支架与围岩强度耦合、刚度耦合和稳定性耦合关系，为超长工作面顶板稳定控制和高效支护提供了理论基础，实现了工作面的安全支护和快速推进。

2.研制了宽中心距、高可靠性智能耦合液压支架与超前支护装备，开发了大中心距、高可靠性、低矮槽帮、下链悬浮和链条动态张紧控制技术，实现了超长工作面顶板和煤壁的稳定控制、超长运输距离的可靠输送，解决了超长工作面“支”、“运”难题。

3.发明了中厚煤层超长工作面高速截割智能控制工艺，研发了智能耦合型液

压支架群组控制技术，开发了液压支架液压系统参数化设计平台、自适应支护控制系统和两侧双进双回敏捷供液系统，提出了工作面设备群高效推进协同控制策略，实现了中厚煤层安全高效开采。

围绕上述创新点，获得发明专利 13 项（授权 10 项），实用新型专利 10 项（授权 9 项），制定国家标准 2 项，团体标准 1 项，出版专著 1 部，论文 20 余篇。

三、智能化建设成效

本案例围绕减人、增产、保安、提效目标，以智能化综合管控平台为枢纽，实现了支架状态、工作面起伏变化、采高、割煤速度的自动调整。采煤机速度达到每分钟 10~15m 以上，生产效率提高了 15%，全天最高割煤达 19 刀、最高日产达 4.6 万 t。2~3m 煤层千万吨级国产 450m 智能化综采工作面关键技术及成套装备的成功实施，标志着我国在高端煤机装备制造和智能化开采技术方面迈出了突破性的一步，为我国中厚煤层智能高效开采做了示范。



图 3 国产首套 450m 智能化综采工作面

案例 32 龙王沟煤矿特厚煤层智能高效综放工作面

主要完成单位：鄂尔多斯市国源矿业开发有限责任公司

一、主要建设内容

中国大唐集团大力开展智能化矿井建设，通过积极探索和实践准格尔煤田特厚煤层智能化成套装备研究与应用，实现了特厚煤层综放工作面常态化智能采煤和智能放煤，通过研究工作面智能控制技术，达到了多机协同管控，实现了智能综放工作面本质安全运行，通过研究智能化技术管理体系，构建了本源-全息-模态为核心的四维地理信息系统，实现了工作面所有对象的透明化管控和智能分析决策，龙王沟煤矿通过不断探索实践特厚煤层综放智能高效开采技术，为煤炭行业特厚煤层智能化开采技术提供了经验和示范。

二、技术特点及先进性

通过不断技术革新，完成了综放工作面智能化成套装备、智能化控制技术、智能化技术管理等 12 项智能化关键技术攻关和应用。

（一）智能开采装备与控制系统方面

1.建成内蒙古自治区首个 20m 以上特厚煤层智能综放工作面。在国内首次使用两柱掩护式特厚煤层大采高综放液压支架（ZFY18000/28/53D），其支护宽度（2.05m）、支护高度（2.8-5.3m）、工作阻力（18000KN）均为全国领先。

2.首次突破了采煤机外置射频精准定位技术瓶颈，实现了采煤机精准定位和包括三角煤区域的全工作面自动跟机拉架、自动收打护帮板、自动喷雾等功能，应用采煤机高级自动化割煤逻辑控制程序和 D 齿轮行程编码器，实现采煤机、液压支架、超前支架及前后部刮板输送机的智能协同联动开采控制。同时结合液压支架姿态信息实时数据反馈，有效监测伸缩梁行程、护帮板角度、支架高度、顶梁旋转角度等避免了碰撞或截割支架的情况，解决了采煤机记忆割煤过程中与支架协同控制的难题（图 1）。



图 1 智能化截割

3.采用 LASC 惯性导航自动调直技术，在采煤机机身中部安装了高精度光纤陀螺仪，实时测量采煤机的三维坐标，根据煤机行走轨迹，基于调直基准线对推移曲线进行动态监测和三次直线度校准，并控制液压支架修正推移行程，实现了工作面的自动矫正调直功能。

4.首次利用放顶煤支架插板倾角、行程传感器变化量与放煤量之间的关系实现了自主控制+人工末端干预的智能放煤技术，根据现场放煤需求和现场地质条件，结合放煤大数据分析决策模型，远程自动设置放煤参数，通过程序自动控制支架尾梁角度和插板行程，实现了以分段多轮顺序自动放煤为主，人工干预为辅的常态化智能放煤，同时研制的《一种特厚煤层联合放顶的间隔等量放煤工艺》已取得国家发明专利。

5.通过实时在线监测三机运行电流、电压、电机转速、绕组及减速器轴承温度、链条张紧油缸压力等工况，实现工作面设备一体化智能决策和负荷均衡控制，通过对前后刮板机、转载机运行电流参数实时分析，当设备电流过载时，协同自动均衡控制采煤机牵引速度及支架尾梁放煤量，达到了智能综放工作面煤流均衡控制的目标。同时自动补压系统可实现运输机链条自动张紧，全时段自适应调节，避免了松链、卡链等情况的发生，并对异常监测情况进行语音报警，提高了运输

机设备性能和使用寿命。

6.工作面移变设备具备了远程集控、远程整定和分合闸控制等功能，工作面移变数据电流、电压数据实现在线监测和远程参数配置，各类供电设备实现故障自动报警和远程故障诊断和监控等功能。

7.建成了区域集中智慧无人远距离供液系统（图2），实现了供水及供液系统远程一键启停、乳化液自动配比、液位、浓度及压力在线监测、泵站电磁卸载自动控制、主从控制及均衡开机、自动补液和远程参数设置等智能化控制功能，乳化液泵站无人值守，具备了可同时供两到三个工作面，达到了智能化减人和盘区十年内不搬家的目标。

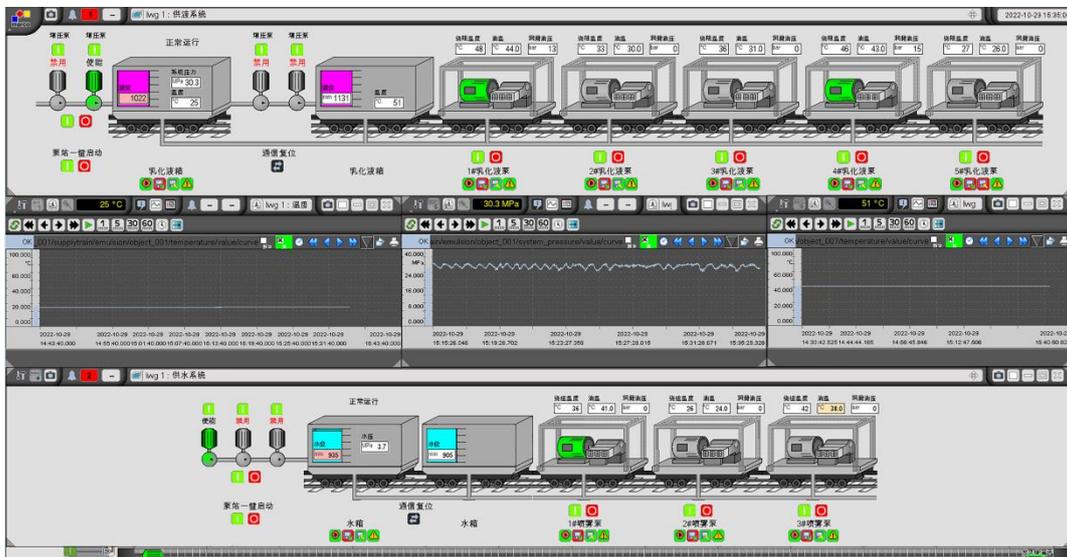


图2 智能泵站

（二）开采管理技术方面

1.突破智能采矿协同设计技术瓶颈，基于四维地理地理信息系统采矿协同设计和输配电供电计算功能，实现了综放工作面施工设计、工程量计算、设备选型、电缆设计、供电计算、设备工作面安全评价和三维效果图的自动生成，为智能综放工作面安全高效开采提供了技术保障。

2.研究应用了矿产资源动态勘察优化技术，结合井上下钻孔、探煤、煤质等数据，基于四维地理地理信息系统矿产资源动态勘察功能，实现了自动计算资源储量块段、开拓储量、准备储量、回采储量、损失量，并结合已经建立的煤层三维模型计算块段储量并自动生成块段资源储量三维模型，实现了矿井资源储量的

透明化管理。

3.研究应用了综放工作面大数据分析技术，构建了大数据矿压分析系统，通过对支架工作阻力、循环末阻力、最大初撑力等历史数据和矿压显现规律分析，结合矿压云图及典型工作面来压特征，应用回归分析算法、均化循环拟合方法等对典型顶板条件工作面循环增阻特征进行分析，实现了工作面来压步距、来压强度的超前预判，为工作面安全推采、保障现场人员、设备安全起到重要作用。

4.探索开发了本源-全息-模态分析算法，建设了基于 SOA 架构的煤矿重大动力灾害精准预警服务平台，实现综放工作面动力灾害的前兆表象精准预判、超前预警。

5.构建了矿井智能化透明应急救援指挥平台，实现了综放工作面应急救援预案一键启动、智能决策分析、避灾路径自动规划、事故反演仿真等，提高了综放工作面灾害期间的应急响应能力。

三、智能化建设成效

通过龙王沟煤矿 20 米以上特厚煤层综放智能高效开采技术的研究应用，实现了工作面全部设备的自主协同控制和智能化放煤，工作面直接生产人数由原来的 12 人降至 5 人。先后建成了智慧机电、智慧运输、智慧通防、智慧安监、智慧运销等，劳动定员由初步设计的 2134 人减少至现在的 956 人，年节约人工成本 1.8 亿元；采煤效率提高 3 倍，达到 96.3 吨/日人；全员效率达到 77.4t/日人；吨煤人工成本 11.66 元；综合吨煤电耗降到 8 度以下，能源消耗率降低了 30%以上，每年节约费用超过 1000 万元，实现了精益管理，践行绿色发展。

案例 33 三元煤矿智能综采工作面

主要完成单位：山西三元煤业股份有限公司

一、主要建设内容

（一）晋能控股集团三元煤业基本情况

山西省晋能控股集团三元煤业股份有限公司，1997 年正式投产，核定产能 260 万吨/年。

三元煤业井田面积 19.8 平方公里，保有储量 3.03 亿吨，煤层倾角 0~10°，现开采 3#煤层。矿井地质条件简单，水文地质类型为中等。三元煤业矿井为立井开拓，现有一个综采工作面、一个备用工作面和两个掘进工作面。综采工作面采用综合机械化低位放顶煤工艺。

（二）三元煤业智能综采运输系统建设情况

三元煤业 4306 智能综采工作面，在综采远控的基础上，对煤机设备进行了 5G 改造，并增加全景视频拼接、主运输皮带人工智能监测、5G 创新网络等子系统，全面提升综采预算智能化水平。

1.全景视频拼接子系统

三元煤业综采工作面全景视频拼接子系统，通过在液压支架上安装 100 多路 5G 高清摄像机对工作面进行实时监控，并通过 5G 创新网络实时上传地面，上传后的视频在领先的 AI 算法支持下，进行拼接融合，融合后可将 10 余组视频画面拼接为一副长长的“画卷”实现综采面煤机范围内的场景全景可视，并且可以根据智能综采远控系统提供的采煤机位置实时更新画面，整体提供“身临其井”的煤机驾驶感受，精准进行远程操控采煤作业。在大场景监控基础上，同时获取重点视角的视频，捕捉上滚筒碰撞护帮板、下滚筒探底不到位等细节。通过与煤矿现有集控系统对接，获取煤机速度、姿态、液压支架行程等信息，实现仪表盘展示。

通过将人工智能、物联网、人员定位和计算机视觉等技术有机融入综采面安

全生产各环节，根据远控采煤状况在综采面实时智能生成电子围栏，及时对围栏内人员进行告警，确保人员安全；实现人员违章、煤壁片帮 24 小时实时监测，护帮板收放异常状态检测预警，为安全高效智能化生产提供技术支撑。

全景视频方案建设架构如下：

- （1）井下综采面，在液压支架处部署 5G 高清无线摄像机。
- （2）通过 5G 把摄像机视频上传到地面。
- （3）在地面机房，部署人工智能 AI 视频拼接算法。
- （4）在地面远控中心，在远程控制台、调度大屏等对全景拼接视频进行呈现，配合远程集控中心，实现远控采煤。

2.主运输皮带人工智能 AI 监测子系统

三元煤业主运输皮带人工智能 AI 监测子系统，在顺槽皮带机尾、转载点的那个位置部署 11 个摄像机，通过人工智能 AI 识别，结合传感器数据开展综合判断分析，实现皮带异物、跑偏、堆煤、皮带卡子撕裂、危险区域人员侵入等异常情况的智能监测识别，实现皮带煤量识别。同时通过业务联动，优化问题处理流程，提升生产效率和安全性。

3.5G 创新网络子系统

为支撑全景视频远控，主运输皮带人工智能 AI 监测系统，以及整体的智能煤矿建设，三元煤业同步建设了井下 5G 创新方案以及相关 5 万兆工业环网，实现了井下网络一网承载多种业务。

二、技术特点及先进性

（一）全景视频拼接系统

全景视频拼接系统在地面形成一幅“长长的画卷”，核心技术包括自清洁摄像机技术、人工智能 AI 视频拼接技术。

自清洁摄像机技术：通过研究综采面煤尘粘附机理，采用透明超疏表面，减少煤粉粘附力，使镜头在综采面长期保持清洁。

人工智能 AI 视频拼接技术：使用 AI 算法进行特征点匹配及 H 矩阵生成、AI 视差校正及拼缝处理、分层分组拼接等技术，确保拼接后的画面稳定平滑。

（二）主运输皮带人工智能 AI 监测子系统

主运输皮带人工智能 AI 监测子系统基于云边协同架构，利用晋能控股集团建设的人工智能 AI 训练中心的强大资源，实现在三元煤业部署的 AI 算法可以边用边学，在线升级，越用越准，在召回率和准确率这两大关键指标上站在了行业前列。同时，AI 算法实现了非正常即异常的效果，提升了监测范围和效率。最后，在集团内部完成算法训练迭代升级，确保了数据不出集团，保障煤矿数据安全。

（三）5G 创新网络子系统

5G 创新网络具有覆盖范围广、网络性能优等特点，在巷道场景下信号覆盖距离相对传统方案提升约 50%；在综采面场景下，通过机头、机尾各布置一个 5G 创新方案基站，即可实现综采面 5G 信号全覆盖，无需在综采面中部再部署 5G 基站。

5G 创新配套建设的 5 万兆工业环网，同样是煤矿业界领先解决方案，通过切片技术能承载多种不同类型的业务（含 5G、视频监控、设备远控等），实现多网合一、降本增效。

三、智能化建设成效

三元煤业 4306 综采工作面全景视频拼接系统，为井上下操控人员提供了一个更加直观、更加清晰的操控界面，提高了综采远控的安全性、可靠性，为综采远控提供了另一种模式，具有推广意义。

案例 34 顾桥煤矿 5G+智能化综采工作面

主要完成单位：淮南矿业（集团）有限责任公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

顾桥煤矿 1613（3）智能化综采工作面在引入成熟的 SAM 型综采自动化系统的基础上，采煤机采用光纤复合电缆与 5G 相结合的通讯方式，实现综采工作面惯导系统数据传输高效稳定，为自动找直创造条件；基于现场地质条件较为复杂的实际，优化了综采工作面中部回采工艺流程，实现综采工作面液压支架自动跟机移架；基于现场设备布置及具体动作，优化采煤机在端头部分的运行策略，实现端头“三角煤”区域采煤机自动运行和液压支架自动跟机。最终建成淮南矿区综采全工作面自动化跟机及采煤机自动运行的示范面，为国家首批智能化示范煤矿建设奠定良好的基础，也为淮南矿区及类似条件下的综采工作面智能化建设提供借鉴。

（二）主要内容

1613（3）工作面智能化开采系统由集中控制系统、网络通讯平台构成。集中控制系统以 SAM 型综采自动化控制系统（如图 1 所示）为枢纽，通过整合液压支架电液控制系统、视频监控系统、采煤机电控系统、三机泵站集控系统，构建出综采工作面智能化集中控制系统。监测与远程控制的网络通讯平台以矿井环网为基础，实现工作面设备、井下集控中心、地面调度室的信息互联。

工作面顺槽控制中心主控计算机以 TM.LongWallMind 自动化控制软件为平台，实现对工作面设备，包括液压支架、工作面运输机、转载机、破碎机、泵站变频器等设备工作状态的实时监测与数据上传，能够远程控制煤流系统设备的一键启停；主控计算机通过光缆与地面调度室上位机设备连接，可实现地面对井下综采工作面机电设备的监测与控制。

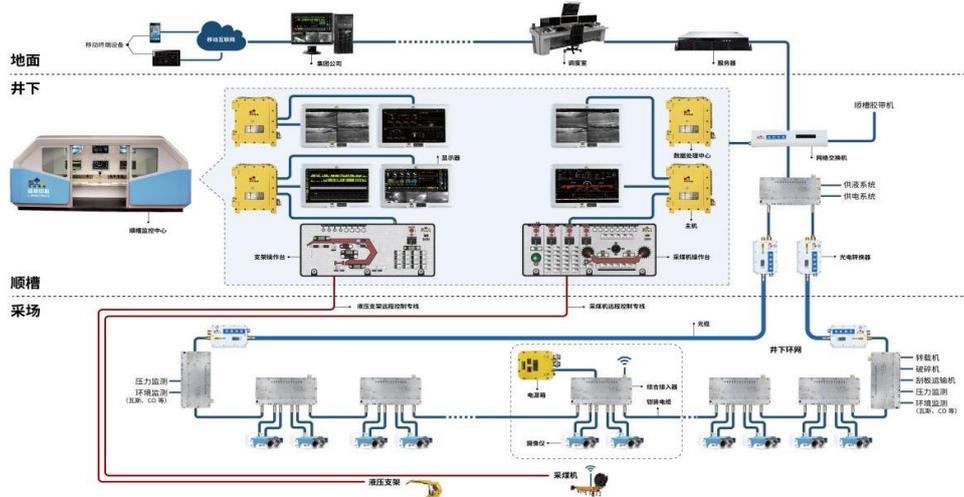


图1 SAM型综采自动化控制系统示意图

1.采煤机部分建设效果

采煤机具有记忆截割、手动控制、紧急停机、故障诊断等功能，采用位置编码、红外信号及惯性导航技术实现精确定位或三维定位，与液压支架配合实现工作面直线度检测与控制，具有速度保护作用，限速 4m/min。

采煤机采用光纤复合电缆并配置 5G 信号终端，实现光纤信号传输与 5G 无线信号传输（如图 2 所示）。采煤机向 SAM 综采自动化控制系统开放远程控制权限，通过远程操作台，在工作面视频系统的辅助下，实现采煤机的控制台集控操作。

为消除采煤机行走编码器长期使用产生的累积误差，特增设了编码器自动校正功能，为支架、采煤机的自动协同作业提供精确定位保障，可有效防止采煤机滚筒与护帮板、伸缩梁产生碰撞及采煤机到两端头发生越位造成的事故。

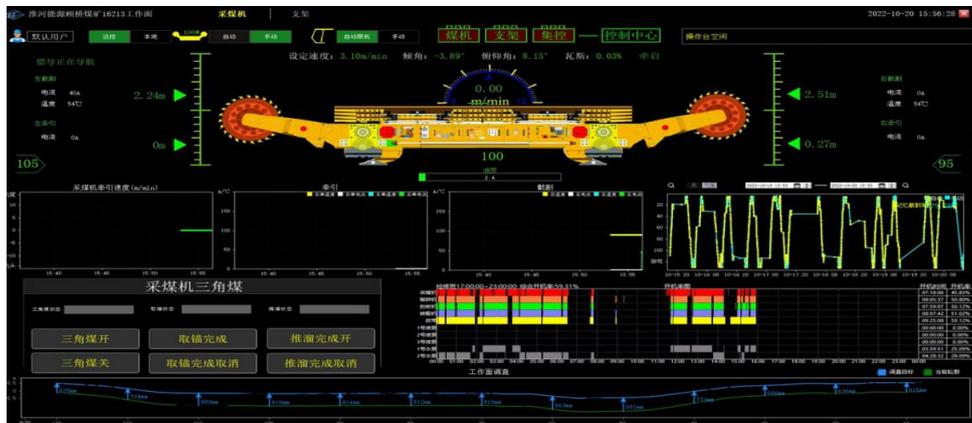


图2 智能化采煤工作面远控图

2.液压支架部分建设效果

液压支架根据采集到的采煤机位置信号自动跟机动作，通过支架倾角传感器及采高传感器实现支架倾角、高度等姿态感知与控制，实现立柱工作压力、推移千斤顶的行程、支架动作等工况数据可靠传输，具有声音报警、急停、本架闭锁及故障自诊断显示功能（图 3）。

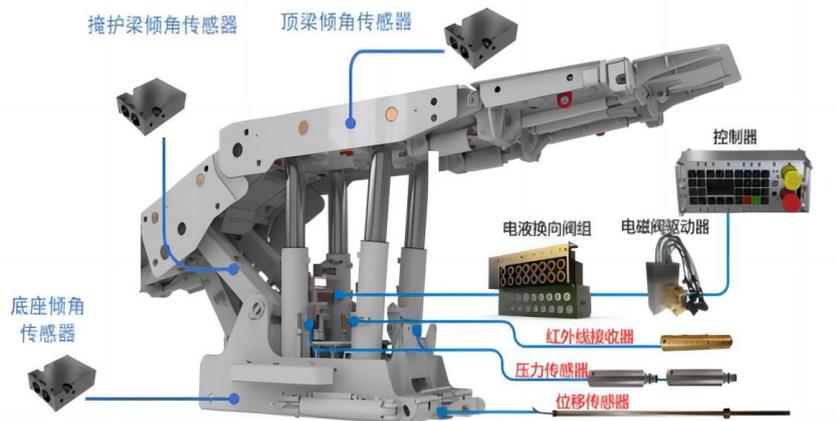


图 3 液压支架传感器配置图

3. 运输设备部分建设效果

刮板输送机具有运行状态监测、故障诊断、就地控制及远程控制功能；带式输送机具有综合保护与运行工况监控功能，能够实时监测皮带运行工况，实现集中控制、无人值守，配备无线遥控自移机尾；设备列车采用 GY200/20 型自移装置，实现自移功能。

与采煤机实现载荷联动，工作面刮板机及转载机的煤流量的连续监测，并通过其负荷的大小自动调控采煤机作业强度，减少了因负荷较大造成工作面压死刮板输送机或设备损坏的现象。

4. 供液系统建设效果

泵站具有运行状态监测功能，基于 SAM 综采自动化系统（图 4），实现地面调度室或井下集控中心远程控制，实现远程集中供液，远程配液和工作面智能供液，集五级水过滤、乳化液自动配比、远程配液、泵站恒压供液、自动补液、系统运行状态记录与上传为一体，为综采工作面提供清洁、恒压、配比稳定的高质量乳化液。



图 4 供液系统在线监测

5.智能控制系统

地面调度室、井下集控中心均能实现综采自动化工作面设备的集中控制和监测，集控系统实现工作面设备(采煤机、液压支架、三机、带式输送机、泵站)的一键启停控制和远程干预操控，以矿井环网为通讯平台实现数据在井下、地面的高速传输，集控中心配置即时语音通讯系统实现井下、地面双向通话。

工作面配置云台多摄像头，可自动跟随采煤机运行工况，并智能识别护帮板伸、收，防止采煤机与液压支架碰撞，实现协同控制。对超前支架、设备列车、自移机尾可以实现远控及遥控控制。在采煤机身安装瓦斯及一氧化碳传感器，实现采煤机、刮板机与瓦斯浓度协同控制。连续监测工作面刮板机及转载机的煤流量，并通过其负荷的大小自动调控采煤机作业强度。当刮板机电流达到 160A 时，采煤机自动减速；当刮板机电流达到 180A 时，采煤机自动停机，待刮板机电流下降至 120A 以下时采煤机方可继续行驶。

6.通讯技术

以矿井万兆工业控制环网、视频环网、5G 网络为通讯平台实现数据在井下、地面的高速传输。在 1613（3）工作面建成 5G+2.0 版智能化综采工作面，采煤机数据通讯采用光纤有线通讯为主、5G 无线通讯为辅助的工作模式，确保了远控采煤机信号的可靠性，实时远程可视化监控，有效降低了控制延时。

利用 5G 网络传输、液压支架自动跟机、采煤机记忆割煤、惯性导航自动找直等技术，实现采煤机、液压支架、刮板机、转载机、带式输送机等自动控制、协同运行。

二、技术特点及先进性

工作面端头回采工艺技术在优化后的采煤机在端头部分的运行策略如下：

采煤机自动记忆截割运行至机头 20 号架时，集控发出三角煤使能信号，采煤机运行至折返点 1，将机头煤体割松动后退至 13 号支架，人工进行端头帮部上部支护锚杆拆除作业，作业完成后集控发出取锚完成信号；采煤机自动运行至折返点 2，将机头煤体割透，采煤机再次退至 13 号支架，人工进行端头帮部底锚杆拆除作业，作业完成后集控发出取锚完成信号；采煤机自动在折返点 2 与 10 号支架之间进行清浮煤作业 2 次（次数可根据实际情况修改），清浮煤作业完成后采煤机自动进入 20 号支架位置；待支架推溜作业完成后集控发出推溜完成信号，采煤机自动进行下一循环进刀作业。下端头作业与上端头作业对称。具体流程如图 5 所示。

优化后的液压支架在端头部分的自动跟机工艺流程如图 6 所示。图中给出了采煤机自动截割三角煤时各触发点及支架自动跟机动作，实现了支架三角煤阶段全自动跟机功能。以图 6 液压支架上端头自动跟机三角煤流程为例，下行回采工艺中部跟机移架阶段 8 至上端头进入阶段 9，此时 23~16 号支架自动推出蛇形段（同时进行清浮煤，护帮板只收不伸）；阶段 10 护帮板参与动作，触发 15~5 号支架补充移架；阶段 11 触发 23~2 号支架全行程推溜；阶段 12 补充移架 18~6 号支架；阶段 13 跟机移架 34~19 号支架；阶段 14 清浮煤（护帮板只收不伸）；阶段 15 补充移架 6~12 号支架（护帮板参与动作）。

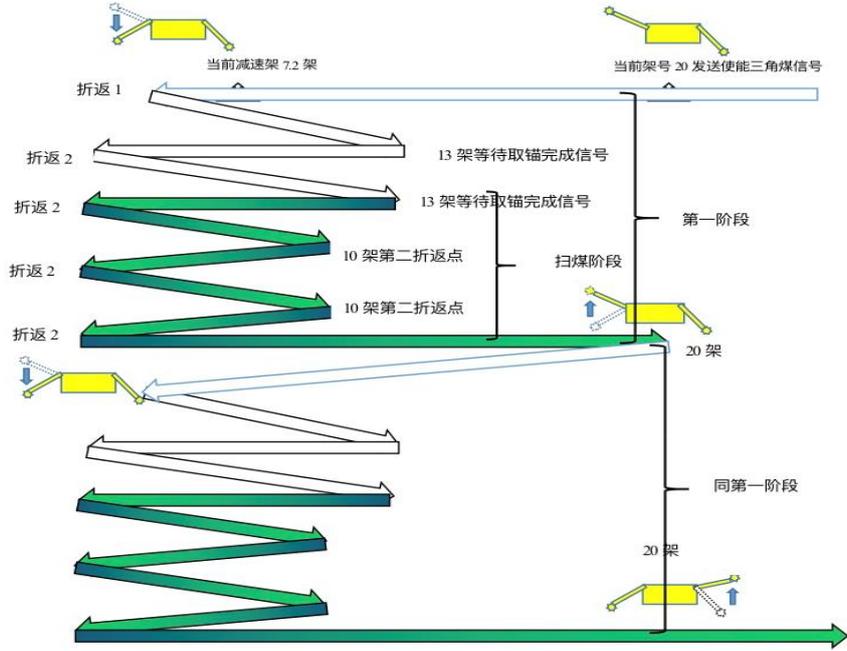


图 5 采煤机端头自动回采三角煤流程图

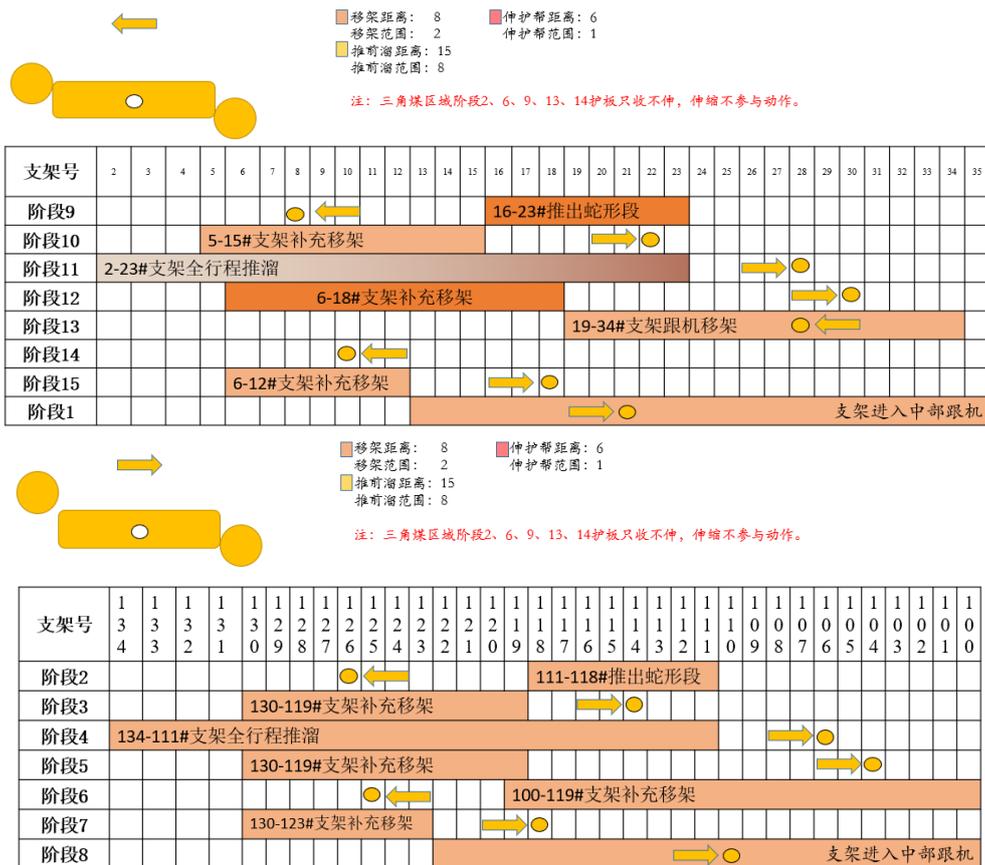


图 6 液压支架端头自动跟机工艺流程图

三、智能化建设成效

一是盾构机实现机械化破岩，破岩速度快，工作面粉尘少，只需 1 人操作完

成作业，2m 循环用时 1h。二是盾构机巷道顶板支护简单，顶帮锚杆数量少、支护强度小，单排用仅 20min，平均每米材料成本 300 元，支护成本不到原来的三分之一。三是盾构机永久支护采用盾体后掘锚平台机载式钻机进行，不但实现机械化施工，还能和截割实现平行作业。

案例 35 钱家营煤矿薄煤层智能化开采工作面

主要完成单位：开滦（集团）有限责任公司钱家营矿业分公司

一、主要建设内容

（一）薄煤层智能化建设背景

为贯彻落实国家能源发展战略和煤炭产业政策，提升煤矿安全生产水平，全面提升煤矿智能化水平，开滦钱家营矿业分公司自 2003 年开始使用电液控支架、外围运输集中控制系统。以 1355E 为例，1355E 是三采区 5 煤层其中一个典型工作面，可采走向长度 645m，倾向长度 182m，平均煤厚 1.3m，平均倾角 10°，总可采储量 43.8 万 t，现场条件适合自动化开采技术的应用。

（二）存在的瓶颈问题

1.5 煤层工作面煤厚变化大，隐伏构造多，导致自动化设备无法发挥最大作用；

2.1355E 工作面上下顺槽均为架棚支护，两顺槽回替金属棚需要一定的人员，在减人提效方面未能发挥最大效益；

3.公司 5 煤层为煤与瓦斯突出煤层，现场的管理难度增加，自动化设备的管理要求较高；

4.部分管理人员对自动化回采方面的经验缺乏，职工的技术素质偏低，年龄结构差异，老工人逐步退休，年轻职工增加，实践经验少。

（三）主要研究内容

1.对薄煤层综采智能化开采进行技术可行性论证；

2.对薄煤层综采智能化开采设备配套的可行性论证；

3.采煤机记忆截割、电液控支架跟机自动移架、自动移溜，工作面无人值守、少人巡视；

4.设定割三角煤参数，识别煤机位置，形成三角煤曲线，完成斜切进刀和装煤过程，完成三角煤智能开采；

5.顺槽集控中心远程集中智能控制，视频+传感器+逻辑分析实现综采工作面设备的智能启停，根据设备运行情况智能控制采煤机牵引速度、截割高度等；

6.提高薄煤层综采系统的工作效率，减少岗位操作员工，降低劳动强度，减少员工职业健康危害，合理控制设备运行，节支降耗，提高节能效率，降低事故率。

（四）建设情况

1.在下顺槽外口设置集控中心，实现视频+传感器+逻辑分析实现综采工作面外围设备的智能启停，见图 1。



图 1 集控中心现场图

2.在集控中心实现视频+传感器+逻辑分析实现综采工作面采煤机远程干预割煤、控制采煤机牵引速度和截割高度，开启支架自动跟机、推溜等，见图 2。



图 2 集控中心示意图

3.针对薄煤层三角煤一次扫底收煤效果不好的特点，在集控中心远程操控三角煤自动跟机移架的启停和推溜移架顺序，实现人工远程干预的三角煤智能开采。

4.集控中心实现根据设备运行情况控制采煤机牵引速度、截割高度、拉移支架和推溜的方式，实时监视采煤机记忆截割状态以及支架、采面刮板输送机、泵

站系统的运行状态等。

5.针对薄煤层空间小特点，采用云台摄像机直接接入支架控制器 A2 口，同时选用闭锁、急停、红外接收一体式控制器，大大减少了交换机、红外接收器和相应线缆的数量，故障率低、方便操作。

6.在井下集控室和地面调度中心实时显示工作面摄像头画面和外围皮带摄像头画面，摄像头可 330°云台旋转，具备红外补光 and 自清洁功能，图像清晰、画面流畅。跟机视频画面能够跟随采煤机行走进行摄像头追踪旋转、画面切换，始终实时显示采煤机滚筒画面。在地面调度中心可实现远程控制和在线视频监控。

（五）实施过程中积累的工作经验

薄煤层工作面采用 MG2×100/460-BWD 智能控制采煤机、KTC130 运输控制系统、电液控和智能集控中心、KTC101 语音通讯控制装置等形成工作面智能控制系统，该薄煤层智能化系统调试过程中通过排查多网段双网卡冲突引发的网络问题，重新划分 vlan 解决 IP 冲突；结合薄煤层开采工艺，调整三角煤跟机参数并结合远程人工干预，第一次只移架不推溜，扫完底后实现二次推溜，推溜、移架和组数、方向根据现场顶板情况随时调整，从而支架自动化跟机推溜移架满足三角煤斜切进刀要求；采煤机记忆截割初始设定为下基准，每走一架自动降摇臂，易出现割底损坏刀齿现象，经过和厂家协商，厂家把下基准调高 400 mm，避免了上述问题。正式应用后达到了预期的效果，实现了减人提效的目标。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

- 1.采煤机记忆截割。
- 2.电液控支架跟机自动移架、推溜。
- 3.三角煤智能开采。
- 4.集中智能控制，在线视频监控、智能分析诊断，实现综采工作面设备的一键启停、以工作面智能自动控制为主，监控中心远程干预控制为辅。

（二）先进性和成熟度

- 1.该薄煤层智能化系统以电液控和智能集控中心为控制基础，配套采煤机载

波通讯和记忆截割、语音通讯和三机控制系统，上述产品性能稳定，处于国内外一流水平。在地面和井下集控中心均可通过“一键式启停”功能键，启动或停止井下相应设备。实现了“以工作面自动控制为主，监控中心远程干预控制为辅”的工作面自动化生产模式，实现了“无人跟机作业，有人安全值守”的开采理念。

2.薄煤层智能化工作面投入每班可省 5-6 人，而且通过自动移架、推溜，大大降低了工人的劳动强度。

3.薄煤层智能化工作面投入以来，达到了平均班进 5 刀，单班月平均推进 75m 的好成绩，同时将全矿原煤灰降低了 0.47 个百分点，效果突出。

4.在煤与瓦斯突出矿井，突出煤层且为薄煤层工作面推行综合自动化开采在开滦集团内部上属首例，在国内也处于领先水平，大大提高了突出矿井突出煤层的安全可控度。

5.目前该套薄煤层三机配套设备符合薄煤层开采需求，性能稳定，支架工作阻力和采高与地质条件匹配，电液控、智能集控系统和相应软件在国内应用已经成熟，软件实现永久免费升级适应国内需要，其它配套设备均为国产。

三、智能化建设成效

1.实现了“以工作面自动控制为主，监控中心远程干预控制为辅”的工作面自动化生产模式，每班可省 6 人，而且通过自动移架、顶溜，大大降低了工人的劳动强度。

2.社会经济效益显著，员工幸福指数提升。解放了采面支架工和机组司机，提升了以人为本的员工安全性，降低了员工的劳动强度，减少员工职业健康危害，为煤炭行业的薄煤层开采和煤炭的可持续发展摸索出了一条便捷之路。

案例 36 平宝煤矿 5G+智能化采煤系统

主要完成单位：平顶山天安煤业股份有限公司

一、建设内容

在推进智能化建设发展的过程中，平宝公司也存在着煤矿行业的一些痛点问题，井下现场环境相对复杂，移动设备多、有线接入维护困难；现场通讯方式单一、故障处理效率低；远程控制效果差，危险区域减员难；瓦斯、煤尘等时刻威胁着矿工的生命安全；智能化系统存在大量的环境监测信息、大型设备运行数据复杂等，需要一个可靠高效的数据采集和信息传输系统，实现人、机、物全面互联。

随着 5G、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的深入发展，煤矿行业生产方式也迎来了新的机遇，河南平宝煤业有限公司，顺应产业转型发展大势，积极探索煤矿智能化建设新模式、新路径，成功打造 5G+智能化采煤场景应用。我们充分考虑网络规划的整体性和实施的阶段性，对地面及井下全部区域进行统一规划和设计，首先对采煤工作面等重点区域进行 5G 网络覆盖，随后分批次逐步实现全区域覆盖。5G 无线网络能够满足井下人员通信、传感器信息采集、井下视频监控、井下远程控制等场景的网络需求，可有效解决煤矿长期存在的安全生产信息无法全方位监测、传递时效性和准确性不高等问题，实现煤炭信息化和自动化生产，推进井下少人化、无人化、智能化。



图 1 5G+智能化大采高工作面

二、技术特点

平宝公司与中国联通签订项目合作协议，开启 5G+工业互联网智能煤矿建设，凭借高速率、低时延、大连接三大基础特性和边缘计算、切片等增强能力，以及各项数字技术的深度融合，搭建了智能化煤矿信息高速传输及融合通信一张网，满足井下人员通信、数据采集、远程控制等场景需求。项目结合矿井大上行传输需求，进行速率时隙配比优化，由 7:1 调整至 3:1，根据井下巷道结构，采用定向天线进行覆盖，研发内网测试软件，调整 RF 倾角和方位角，保证井下覆盖效果最优，根据现场实测，单台基站覆盖范围可达 400m 以上，上行速率达到 900Mbit/s 以上，下行速率稳定在 300Mbit/s，为智能采煤系统数据传输铺设了数据传输“高速公路”。



图 2 井下 5G 基站



图 3 采面 5G 基站

采煤工作面是煤矿生产中设备最多、环境最恶劣、工作最复杂的场景之一，当前综采面各设备连接采用有线方式，光缆拉断等情况时有发生，从而造成停产维修。5G 的场景化应用，能够极大的提升工作效率和降低安全隐患。我们在采面机巷部署 4 台 5G 基站，工作面两侧各部署 1 台基站实现了切眼 5G 网络覆盖。

采煤机电控箱连接隔爆兼本安型 5G CPE，外置天线使用尼龙保护套进行保护，并垂直安装于电控箱或变频箱前方檐下，避免复杂环境损坏天线，同时保障传输质量。采煤机信号（包括机载高清视频、传感中心、参数控制）通过 5G 无线通信系统传输至地面控制室，从而实现了无线远程监控。刮板输送机机头、机尾、转载机、破碎机安装有大量传感器，对电机绕组温度、减速器油温、减速器轴温、冷却水流量、冷却水温度等进行监测，使用过程中三机驱动部位经常移动，且该部位杂物较多，传感器易发生故障且维护困难，通过 5G CPE 模组采区集中分布式无线接入，极大的方便了设备运行维护，降低了故障率。最终，我们实现了效果好、可靠性高的 5G+远程监测控制，最大程度降低了现场作业人员投入。

目前煤矿井下主要以有线调度通信为主要手段，存在位置固定、模式单一，沟通效率低等问题，借助 5G 网络，调度人员可随时与井下管理人员进行点对点通讯，结合现场情况进行动态指挥，显著提升了管理水平。此外，由于智能化采煤系统复杂度较高，有时需要与厂家技术人员进行实时沟通，通过 5G 视频通讯，地面专家不用前往现场即可第一视角获取现场画面及设备状态，指导井下人员施工作业，大大降低了维护时间，提高了生产效率。



图 4 5G 视频通讯



图 5 5G 远程协作

为进一步提升生产效率，公司在采面顺槽可伸缩带式输送机安装了基于煤量监测的智能调速系统，通过加装 CPE 接入 5G 网络，避免了线缆的重复铺设，利用矿用本安型 AI 图像处理高速智能摄像机配合专用线型激光标定光源方式，实时扫描皮带上煤流的断面形状，通过发送与接收信号的时间差，计算出煤流轮廓，精确识别算出皮带上的煤量，对皮带的运量进行统计。控制中心分析数据后发送指令给运输设备控制变频器，实现煤流智能调控。

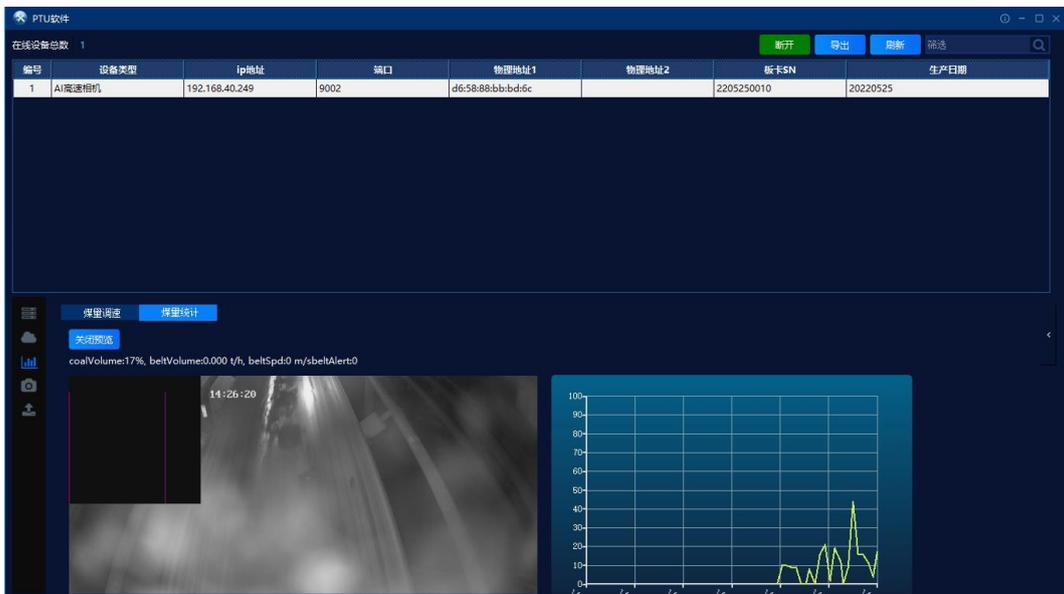


图 6 5G+AI 皮带调速

经过持续探索突破，2022年初，平宝公司在已在 15-17-12120 智能化采煤工作面建设了 5G+规划开采与数字孪生系统，基于 5G 高速网络实时采集井下工作面

设备同步数据，如支架姿态、煤机姿态、立柱压力、推移行程等数据，基于数字模型的设备虚实映射与实时监测技术，实现了对井下现场生产工艺信息的自动提取、实时跟踪及可视化展示，真正实现工作面设备互联互通、生产场景再现、以数据为中心的生产模式，完美还原三机设备的全部动作，利用数字孪生可视化技术完成物理世界对象在数据世界的重现、分析和决策，为煤矿安全、绿色高效生产提供可靠技术保障，开创了全国领先的深部综放工作面智能化透明开采技术应用场景，为今后的无人化智能开采打下了坚实的基础。

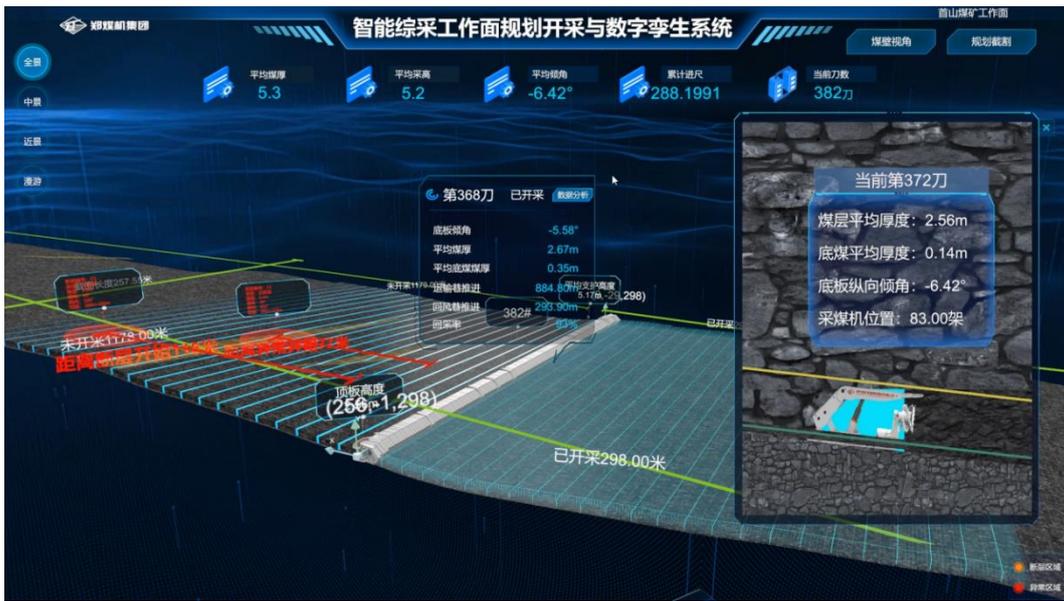


图 7 5G+规划开采

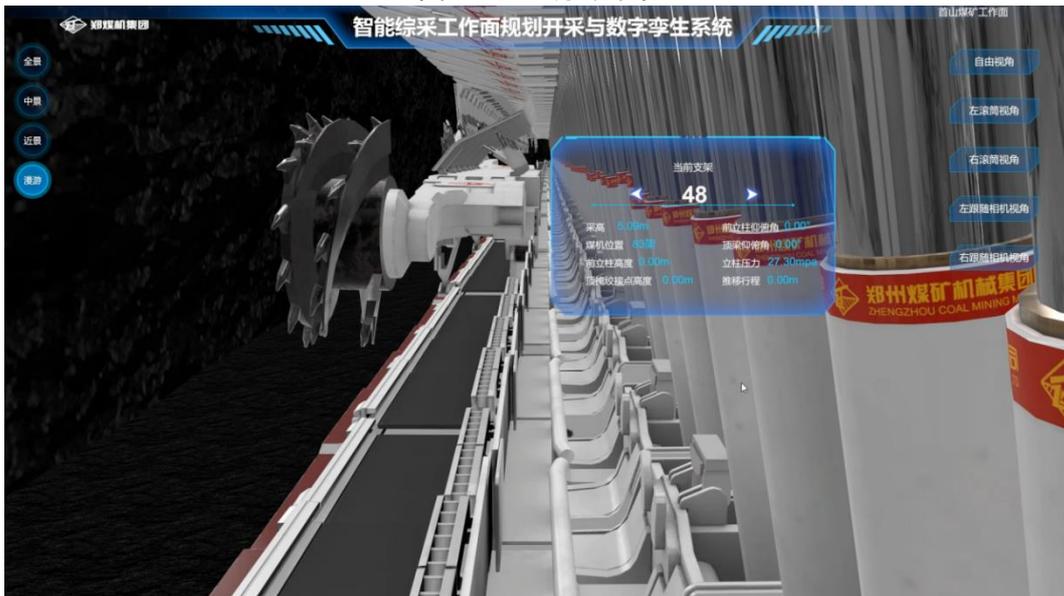


图 8 5G+数字孪生

三、建设成效

目前，平宝公司采面人员在 800 m 井下可随时通过 5G 防爆手机与地面进行连线，现场设备通过 CPE 模组接入 5G 网络，摆脱了线缆的束缚，视频监控数据、监测传感信息、远程控制指令以超低时延分别回传至井上下集控中心，管理人员站在大屏前，采煤现场各类工况数据一目了然，只需在集控台上点击启动按钮，采煤机、运输机、转载机相继启动，滚滚乌金乘着皮带翻涌而出，传统采煤作业方式发生了彻底转变，工作面单班生产人员由 22 减至 6 人，真正实现了安全高效智能化采煤。同时，也为煤矿 5G 深度融合应用提供了良好借鉴，项目在第四届“绽放杯”5G 应用征集大赛中荣获河南省赛区一等奖、全国三等奖，大赛最佳人气奖，被河南省工业和信息化厅评定为河南省第一批 5G 应用场景示范项目。

案例 37 龙滩煤矿复杂地质条件薄煤层智能化开采工作面

主要完成单位：四川华蓥山龙滩煤电有限责任公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

龙滩矿井地质条件复杂，煤层较薄且厚度变化大，瓦斯突出、复合顶板，地质构造发育，针对复杂地质条件薄煤层智能化开采存在的问题，川煤集团投入大量人力和资金，开展大量研究，由龙滩煤矿和嘉华机械公司、北京天玛智控公司合作，研发了适应复杂煤层的智能化开采成套装备和开采技术，实现了复杂地质条件煤层“无人跟机作业、有人安全巡视”、“自动控制为主、人员干预为辅”的智能化开采模式。

（二）主要内容

2019 年，龙滩煤矿在 3124S 工作面进行首次智能化工作面探索，控制系统采用北京天玛智控综采自动化控制系统，综采设备采用成套国产设备；随后在 3122N 和 3122S 工作面采用同一套智能化设备。

当前，龙滩煤矿正在 3122S 工作面实施智能化开采，该工作面走向长度 1486m，倾斜长度 240m；煤厚 0.7~2.57m，平均 1.6m，煤层结构简单至复杂；煤层倾角 4~7°，平均 5°，可采储量为 64.27 万 t。工作面布置有上、下顺槽及开切眼，采用 Y 型通风，风巷实施切顶卸压无煤柱自成巷护巷工艺。

1. 设备配套情况

智能化综采工作面设备配置如表所示。

表 智能化工作面装备配置表

序号	设备名称	型号	单位	数量	安装地点
1	电液控液压支架	ZY4000/11/25D	架	130	工作面
2	超前支架	ZTYC24000/20/34D	组	5	机巷
3	采煤机	MG320/710-WD3	台	1	工作面
4	刮板输送机	SGZ760/630	台	1	工作面
5	转载机（含自移）	SZZ764/200	台	1	机巷

序号	设备名称	型号	单位	数量	安装地点
6	破碎机	PLM1000	台	1	机巷
7	乳化液泵	BRW400/37.5	套	1	配液硐室
8	胶带输送机	DSJ80/60/2x160	台	1	机巷
9	皮带自移机尾	DY800	套	1	机巷
10	喷雾泵	BPW500/16	套	1	配液硐室
11	移动变电站	KBSGZY-T-1600/10	台	1	设备列车
12	移动变电站	KBSGZY-T-1250/10	台 <td 1	配液硐室	
13	移动变电站	KBSGZY-T-800/10	台	1	变电所
14	移动变电站	KBSGZY-T-630/10	台	1	变电所
15	组合开关	QJZ2-1600/1140 (660)-8	台	3	设备列车
16	顺槽通讯系统	KTC101	套	2	工作面
17	单轨吊	TDY100/14（150米）	套	1	机巷
18	自动控制系统	SAM	套	1	工作面
19	电液控制系统	SAC	套	1	工作面
20	集成供液系统	SAP	套	1	配液硐室
21	远程供液管道		米	7500	工作面
22	设备列车等		项	1	工作面

智能化综采工作面设备布置如图 1 所示。

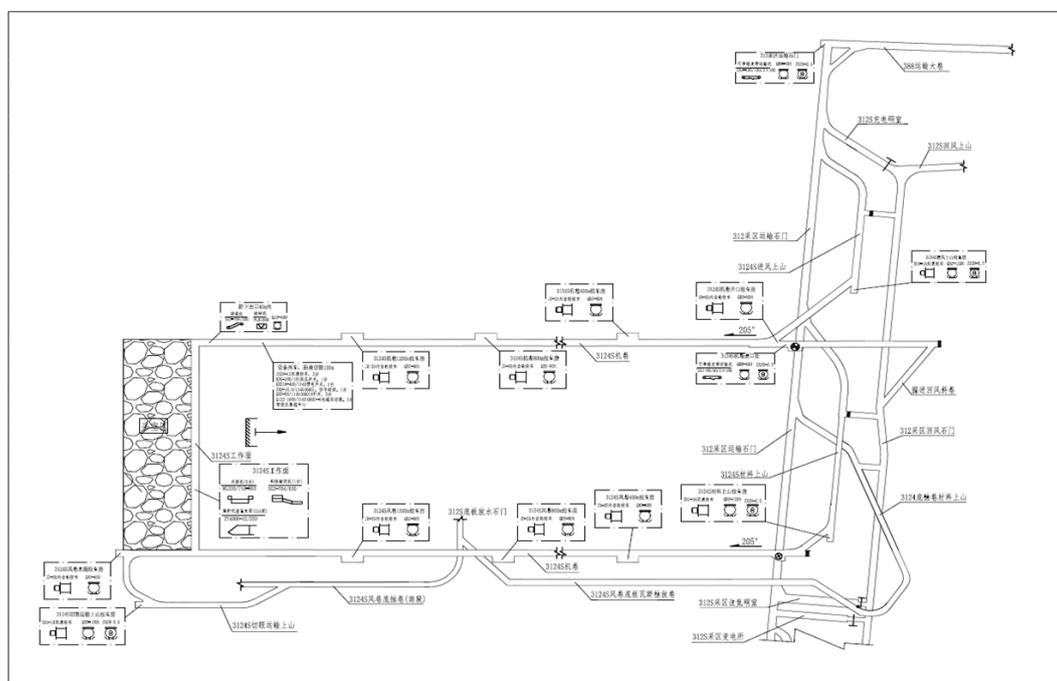


图 1 智能化工作面装备配置图

2.智能化配套情况

控制系统配置有液压支架 SAC 型电液控制系统、综采 SAM 型自动化控制

系统、视频 SAV 监控系统、采煤机 SAS 控制系统、泵站 SAP 集成供液系统、采煤机自动化控制系统、输送设备工况监测系统、工作面语音通讯控制系统各 1 套，以及远程智能控制平台等智能成套装备。

（三）工作经验

1.建立了集中供液净水系统，实现污水处理循环再利用，使智能化供水满足电液控系统的水质使用要求，保证支架使用稳定性，延长使用寿命。该套装备实现了 3 个工作面开采，总推进长度 4500m。

2.工作面煤层原始瓦斯含量为 $9.55\text{m}^3/\text{t}$ ，通过加大、加密钻孔预抽煤层瓦斯、深孔预裂爆破等技术手段和走向断层治灾、采空区抽放连续预测等管理措施，使煤层残余瓦斯含量被控制在 $4\text{m}^3/\text{t}$ ，为智能化快速推进打下基础。

3.优化了工作面支架与采煤机位置定位，解决了割煤时支架、运输机、采煤机功能自动化配合的问题，实现了工作面自动化开采；优化了刮板机推移装置，机头设计为三节中部槽，卧底量从 29mm 提高到 97mm，解决了薄煤层工作面割煤时煤机卧底量不足与推移困难的问题。

4.在劳动组织上，薄煤层智能化开采工作面减少了 8 人，即减少采煤机司机 1 人、拉架工 2 人、刮板机司机 1 人、转载机司机 1 人、皮带机司机 1 人、浮煤清收工 2 人。现场 1 名集控司机、2 名采煤机支架工（干预）、2 名维修工巡视即可保障整个工作面生产系统的正常安全运行。

5.在管理过程中，全面推行了设备预防性检修管理方式，落实包机人的保养责任，严格按照设备检修清单进行巡检，按照设备说明书规范操作，变事后维修为事前保养，保障了设备性能稳定。

二、技术特点及先进性

（一）基础设施

智能化开采全部设备均为国产，安全完全可控。嘉华机械公司为技术总牵头，自主研发了液压支架、超前支架、端头支架，并集成天玛电液控制系统、天地上海采煤机、天地重装刮板机等国内成熟的技术及装备。拥有自主知识产权专利 10 余件。

（二）平台软件

装备了千兆铠装光纤，实现井下监控中心与地面调度中心的互联互通。平台采用独立网段以及 VLAN 技术，在系统与外部数据交换时，采用防火墙及入侵检测技术，确保平台安全可靠。申请软件著作权登记 3 项：综采工作面采煤机控制系统 V1.0、综采工作面视频监控软件 V1.0、综采工作面自动化系统软件 V1.0。

（三）应用权限

平台采用用户权限控制，具备用户管理、权限管理等安全防护措施，确保平台信息安全。

（四）数据的集成与共享

在顺槽监控中心实现了综采设备数据采集集成、处理、故障诊断（包括对采煤机、液压支架、运输机的故障诊断），实现工作面所有设备集中控制、工况全面检测、视频动态跟踪，并与地面调度中心实现数据共享同步。

（五）数据的监测与收集

实现了采煤机截割速度、深度、位置等数据的监测与收集；液压支架推移步距数据、油缸受力数据的监测与收集；成套设备工况数据的监测；煤流运输负载数据的监测等。

（六）数据的分析与处理

通过对支架支撑压力数据的分析实现顶板压力的自动预警；通过对煤流数据的分析实现刮板输送机转速的调控；通过对设备运行数据的分析实现设备故障的自我诊断；通过对采煤机的数据分析实现采煤机记忆割煤。

（七）安全可控

当工作面自动化控制系统出现故障时，各子系统不受开采自动化系统控制，以保证在检修和开采自动化控制系统出现故障时，各子系统能单独开车，确保生产不受影响。

三、智能化建设成效

（一）建设成效

1.工效显著提升。采用智能化开采后，回采工效提高 65.8%，与同类型综合

机械化开采工作面相比，每年多生产商品煤约 29 万 t。

2.人员减少明显。采用智能化开采后，单班生产作业人员由以往 18 人减至 10 人，每年节约人工成本 112 万元。

3.经济效益突出。相较于传统综采方式，智能化采煤新增销售额 11600 万元，新增利润 1504 万元，新增税收 1508 万元。

4.社会效益较大。攻关瓦斯突出、构造复杂条件下的智能化采煤，在西南地区具有极大的推广应用价值。并且改善了职工作业环境，保障了职工作业安全，增加了职工收入效益，增强了职工获得感与幸福感。

（二）主要亮点

1.研发了复杂地质条件 1.2~2.5m 薄及中厚煤层智能化综采工作面成套装备，实现了“自动控制为主、人员干预为辅”的智能化综采模式，拓展了智能化综采技术在复杂地质条件煤层中的应用。

2.提出了瓦斯灾害盲区判识及多元综合防治方法及“区域一体、局部强化、盲区判识、多元治理”瓦斯灾害综合防治技术管理体系；形成了煤巷底板穿层、工作面顺层、网格钻孔预抽采完全区域消能和构造带深孔爆破、水力压裂局部强化卸压一体化防控技术体系。

3.提出了复合顶板切顶沿空留巷方法与分区多介质耦合支护技术，采用超前加固切顶+立柱挂网护帮+滞后封堵加固+收尾砌墙接顶留巷支护新工艺，降低了顶板变形量，有效改善了巷道稳定性，为智能化综采工作面快速推进创造了条件。

4.提出了矿井污水处理循环再利用和远距离集中供液系统方案，制定严格的用水、用液管理规定，同时为整个采区工作面远距离集中供液。

5.提出了工作面设备保护方案，在支架前探梁上焊接挡水条，避免了工作面淋水和支架喷雾水达到支架电液控处；工作面立柱、管缆线等采用聚氯乙烯阻燃护套进行保护。

案例 38 嘉阳煤矿薄煤层智能化综采工作面

主要完成单位：四川嘉阳集团有限责任公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

1. 建设单位概况

四川嘉阳集团有限责任公司嘉阳煤矿位于四川省犍为县，是 120 万 t/a 正常生产高瓦斯矿井。水文地质条件简单，矿井划分为三个水平，采用斜井开拓。

2. 应用工作面概况

嘉阳煤矿首采智能化工作面为 1205 工作面，走向长度 220m，可采倾向长度 1256m，采用二进一回“Y”型通风。K₇煤层平均倾角 2°，平均厚度 0.98m，为“四煤三研”复杂结构煤层，夹研一般为高岭石黏土岩；煤层瓦斯含量 5.33~6.11m³/t。

3. 系统应用情况

1205 智能化综采系统在工作面就近硐室及地面调度指挥中心建立智能化集中控制平台，建成具有主动感知、自动分析、智能处理的安全、高效、无人化智能综采监控系统，以形成“智能控制+远程干预+有人巡视”的智能化综采模式为目标，以 SAM 智能化控制系统为核心，以薄煤层开采装备为基础平台，结合 SAC 电液控系统、集成远程恒压供液、采煤机智能控制、运输监控保护和工作面语音通讯系统等关键性技术，建成了集实用性、可靠性、先进性为一体的智能化综采系统。

（二）主要建设内容

嘉阳煤矿 1205 智能化综采选用全套国产先进装备：三机配套选型为 MG2×125/570-WD7 电牵引采煤机、SGZ730/500 型刮板输送机、ZY4000/08/15D 型中间支架、ZY4200/08/17.5D 型过渡支架；工作面采高严格控制在 1.2m 以下。



图1 工作面自主截割并配巡视人员图

运输巷选用 SZZ730/132 桥式转载机、PCM110 锤式破碎机、ZY1100 迈步自移装置及 ZY2300 带式输送机自移机尾与 DSJ80/60/2×160 带式输送机配套，自移装置全部集成到电液控系统远程控制。

集控硐室安装智能集成供液、供电及集控操作台。配置北京天玛智控公司 SAC 型电液控制系统、SAM 型综采工作面自动化控制系统，组成远程集控硐室和地面指挥中心两级智能化集控的一体化智能综采系统。



图2 集成供液系统安装硐室



图 3 1205 智能化工作面井下集中控制中心

（三）工作经验

1.企业重视智能化建设，先后成立了项目建设领导小组和工作小组，对项目建设内容、组织实施、资金投入、全过程管理等进行统一安排部署和落实。

2.矿井智能化综采按照“提前规划，统一设计，分期实施”的方针，以提升煤矿本质安全生产条件为目标，结合矿井发展需要，以安全生产、减人提效为重点，分期改造并逐步实现矿井智能化开采。

3.规范管理流程，严格管理制度，针对智能化开采，制定了智能化生产设备操作规程 17 项、智能化综采岗位责任制、智能化工作面设备管理制度等一系列生产和管理制度，形成完善的岗位责任制体系和操作规程。

4.按照“建设全程参与，投运自我维护”指导思想，根据每个项目的不同需求制定人才培训计划，采取“走出去、请进来、理论+实操”等培训方式，提升人才素质，培养一批智能装备管理、操作、维护人员，为后期全面实现矿井智能化综采储备充足的专业性人才。

二、技术特点及先进性

据有关统计数据显示，在我国已探明的煤矿资源中，84.2%的矿区均有薄煤

层分布，其中部分矿区薄煤层储量比重较大。许多矿井经过多年的开采，中、厚煤层已近枯竭，薄煤层的开采能回收大量的煤炭资源。嘉阳煤矿复杂结构薄煤层智能化开采的成功，对于四川乃至全国类似条件矿井具有示范引领作用，取得的成果值得推广。

1.该智能化综采工艺技术适应破碎顶板和松软底板复杂结构下薄煤层智能化综采。根据嘉阳煤矿薄煤层特殊地质情况，结合现有装备进行智能化综采工艺改革和装备改进，具有国内领先水平。经过生产实践验证，嘉阳煤矿复杂结构薄煤层智能化开采装备单个工作面生产能力可达 85Mt/a。

2.嘉阳煤矿复杂结构薄煤层智能化建设案例适用于采高 1.2m 及以下薄煤层开采。主要装备工艺改进有：采用高强度薄型支架、扁平结构刮板输送机、大功率矮机身采煤机、微型智能化多功能电液控装置，矿用微型摄像仪等先进装备，提升了薄煤层开采的通行空间和安全性。北京天玛智能控制系统，不仅实现了常规的中部跟机、记忆截割，还实现了端头三角煤斜切进刀自动跟机和记忆截割、输送机巷自动跟随移机，平均跟机率和记忆截割率 95%以上，最高达到 98.5%，真正实现了采煤工艺智能化、无人化。

3.支架无线遥控：工作面每台支架均配置无线遥控接收器，巡检人员可手持遥控器进行远距离操控液压支架，充分保障巡检人员安全。

4.薄煤层微型摄像仪：首次采用薄煤层专用微型摄像仪及配套照明装置，体积小、便于安装与维护，增大了薄煤层行人空间；转运设备固定点采用云台摄像仪，可进行 360°+90°旋转，实现固定点全方位监测。

5.恒压供液系统：集中供液系统除配置有自动配液站、反渗透水处理系统、反冲洗进回液过滤站等常规配置外，还增配了含蓄能功能的乳化泵供液站和喷雾泵供液站，实现工作面恒压供液，保证工作面支架能及时跟机。

6.人员自动感知系统：工作面每台支架均配置近感探测器，巡检人员靠近时，支架自动闭锁，保证人员安全。

7.地面专建封闭式不锈钢净水水箱和配套智能化调水设备，确保矿井用水的清洁度及水压和流量的稳定，提升了智能化液压系统的稳定性和使用寿命。

8.巷道缆线通过单轨吊实现压缩自移，采后沿空护巷机械化施工，单轨吊运输材料，大幅降低劳动强度。

9.将智能化开采和地面洗选工艺、煤炭仓储、煤质调配纳入矿井生产运输集控系统，实现从开采端到销售端的无缝衔接，提升产销管理智能化调控水平。

三、智能化建设成效

1.提升了安全生产保障能力。智能化开采实现地面调度集控中心和井下集控中心远程控制，改善作业环境，对生产过程中出现的故障报警能准确判断、快速处置，使工作环境更加安全；同时具有工作面矿压统计分析预警，为矿井安全生产创造了有利条件。

2.减轻了工人劳动强度，提高生产效率。智能化综采实现全过程记忆截割，自动跟机拉架推溜，桥式转载机、破碎机、皮带机实现远程控制迈步自移，巷道缆线实现压缩自移，工作面自动化跟机率达 95%以上，较普通综采工作面生产效能提升了 10.1 倍。工作面平均日产量能达到 3245t，较以往提升 45%，实现高效生产目标。同时设备故障明显减少，检修时间较以往下降 80%，有效可生产时间大幅提升，极大减轻了职工的劳动强度，提升了职工工作幸福感。

3.实现了减人增效。智能化综采项目的实施，使工作面生产班组由原来普通综采工作面（对拉工作面布置）5 个班组减少到 2 个班组，单日生人员由原来 61 人减少到 8 人，减员 87%，人均工效达到 406t/工，初步实现了智能开采、减人增效、安全、经济的建设目标。

案例 39 麻地梁煤矿 5G+智能开采系统

主要完成单位：内蒙古智能煤炭有限责任公司

一、主要建设内容

（一）公司简介

内蒙古智能煤炭有限责任公司成立于 2008 年，是由皖北煤电集团公司控股的股份制企业。公司所属麻地梁井田位于鄂尔多斯准格尔旗境内，地质储量 6.8 亿 t，可采储量 4.2 亿 t。年设计生产、洗选能力 800 万 t，矿井属低瓦斯矿井，水文地质条件中等，开采条件优越。

（二）5G+智能开采

1.5G 采煤远控

（1）采煤机 5G 工业控制

麻地梁煤矿于 2020 年 7 月开始采煤机 5G 工业控制技术研发，于 2020 年 9 月进行 5G 远控测试。2021 年 6 月，麻地梁煤矿与华为、中国移动、上海山源、中煤科工集团上海天地科技股份有限公司合作，首次将华为公司 AR 双发选收技术应用于采煤机端到端控制，投入日常安全生产至今，稳定运行 14 个月。

（2）采煤工作面其他 5G 工业应用

2022 年矿井持续开展采煤工作面其他移动设备 5G 组网对接与工业控制应用试验，正在研发支架与运输机等设备的 5G 工业控制，彻底解决工作面移动设备“剪辫子”，保障采煤工作面安全连续生产。

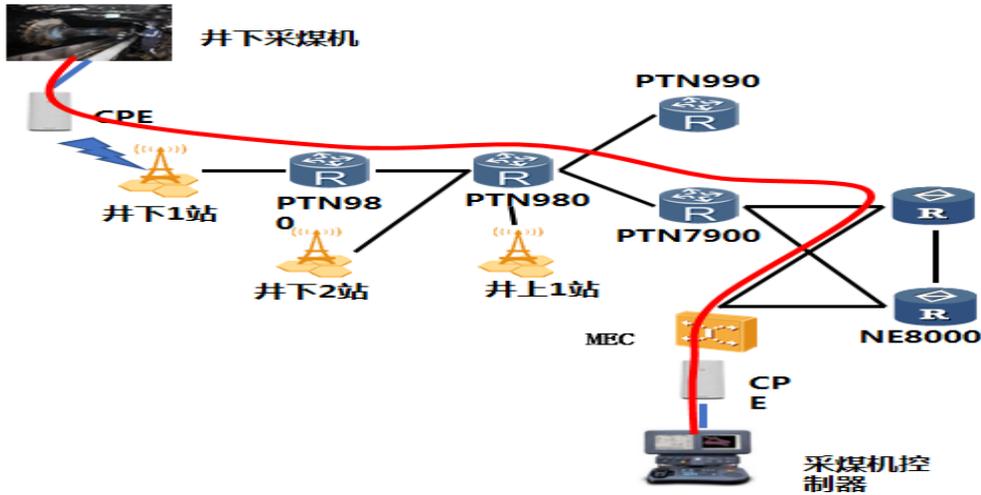


图1 采煤机 5G 工业控制图

2.超远距离集中供电、供液系统

实现 3100m 超远距离集中供电，将工作面四机供电移变及组合开关置于工作面收作线外，服务于相邻两个综放工作面，取消设备列车，降低安全隐患。

将远距离供液硐室置于盘区中部，服务于整个东翼采区。乳化泵站采用变频器降压启动，减少了液压系统的动载冲击，消除了“炸管”现象；通过末端出口动态压力检测信号反馈，实现变频调速自动补压的功能。乳化液自动配比、箱体液位自动检测、自动补液；反冲洗过滤站通过压力自动检测实现自动反冲洗。液压系统用水经净化水处理装置过滤软化后进入自动配比装置，保证乳化液浓度始终在 3%~5%，自动化集控系统能够实时在线监测乳化液的浓度，乳化液浓度低于 3%或高于 5%时能够实现自动报警。

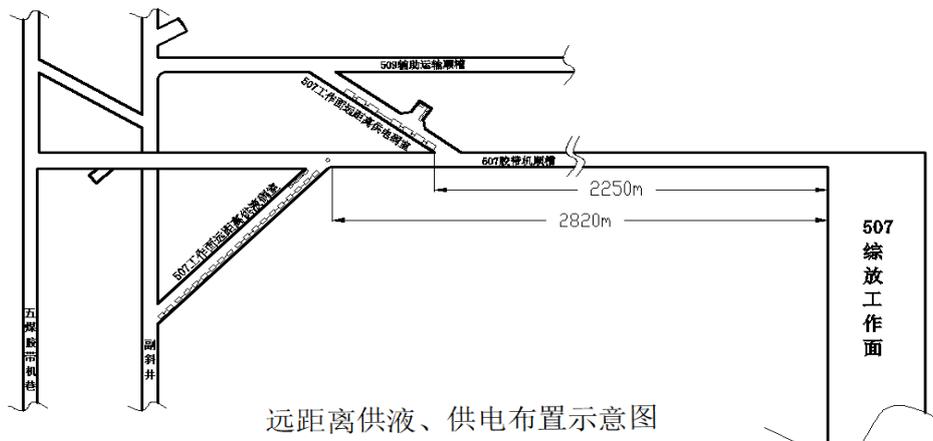


图2 远距离供液、供电布置示意图

3.三机监测控制系统

转载机安装有煤量识别装置，利用新型三维激光雷达和视觉传感技术，能够实时计算转载机的输送煤量，根据转载机的实际工况，实现前后部运输机自动降速功能和远程控制时的转载机高低速选择；皮带机变频器根据实际运行电流实时调速，保障采煤系统煤流负荷平衡，有效满足工作面三机及皮带机的安全运行。

4.地面集中控制系统

利用 5G 工业应用技术，结合智能控制和可视化远程干预技术，实现地面调度监控中心对综采设备的智能监测与集中控制，实现采煤机记忆割煤、运输机和支架自动跟机移架、视频自动跟机、半自动放煤。麻地梁煤矿综放工作面于全国范围内率先取消井下顺槽集控仓，所有设备启停控制指令均通过地面中心执行。

5.远程放顶煤系统

后部运输机安装有云台摄像机，在可视化的条件下，实现 509 综放工作面的远程控制放煤。在早班作业人员进入工作面之前，集控中心将整个运输系统开启，利用设备集中远程控制优势及可视化与远程控制放煤技术，实现割煤、放煤作业，为未来实现工作面无人化积累了经验。

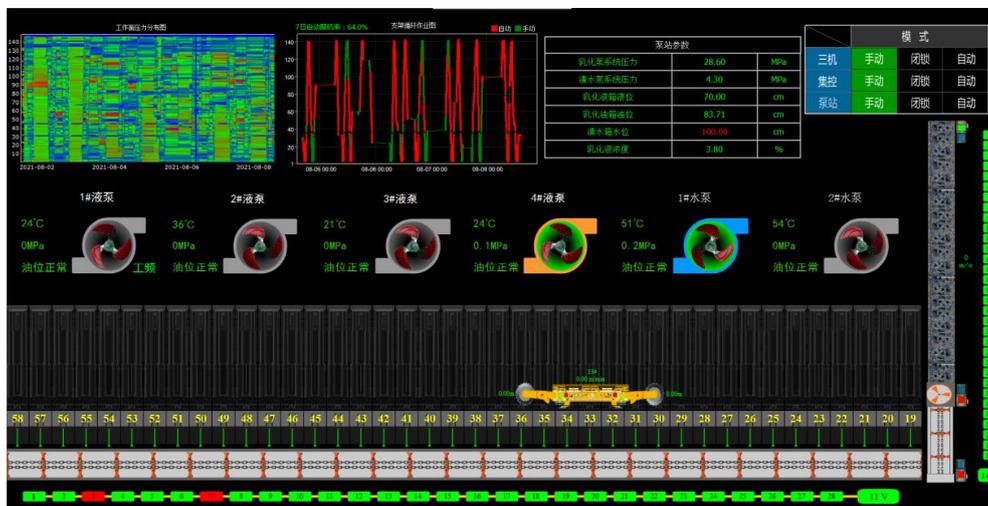


图 3 地面集中控制系统

6.设备全生命周期管理、智能检修系统

通过设备传感数据的采集并上传至矿井综合自动化平台设备数据库，可以实现如下功能：

(1) 预警检修：设备运行参数异常自动推送至巡检工与生产单位班队长，及时对设备异常状态进行排查和处理。

(2) 定期检修：周期性的设备保养工作提前向生产单位班队长进行推送、提醒，若到期未施工则向科区长继续推送通知。

(3) 全生命周期设备、备件更换：如运输机链轮、油脂、密封件、销轴、滤芯等设备和备件，在即将达到规定的生命周期要求时及时进行更换。

(4) 远程“会诊”系统：当矿井设备突然出现故障时，若现场技术人员无法及时排查处理，可以立即启动由矿方技术员、矿方设备现场维修人员、设备厂家技术专家构成的三方远程“会诊”系统，对设备现场状态、运行参数、历史曲线、后台程序等问题进行远程判断和解决。

二、技术特点及先进性

(一) 技术性能与指标：

1.5G 工业控制技术

(1) 有线/无线冗余备用网络控制

为保障采煤机地面远控稳定性，麻地梁煤矿与中煤科工集团上海天地科技股份有限公司合作研制 CS-5G 冗余网络控制装置。

2021年1月麻地梁煤矿通过安装 CS-5G 冗余网络控制装置，建立了采煤机 5G 空口传输网络及光纤有线传输网络双链路通讯。CS-5G 冗余网络控制装置配套 CS-RLink 煤机专用冗余网络控制模块，该模块嵌入了 L2 冗余链路状态监测算法、链路切换广播风暴抑制算法、L4 信标链路状态监测算法、网络流量监控算法、煤机远控数据参数监控算法等丰富的算法设计，通过定时发送网络检测报文，实现在煤机 5G 通讯网络异常时，自动切换至光纤有线链路，保障了采煤机地面远控可靠性。

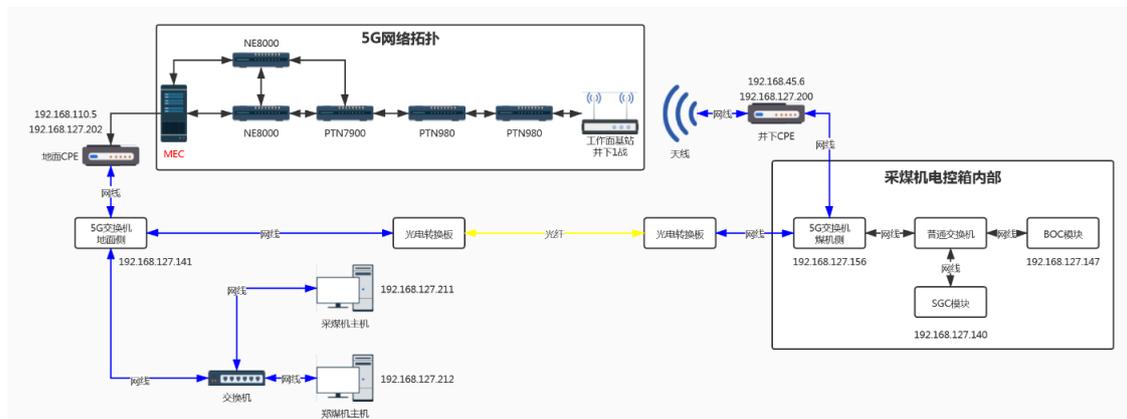


图 4 有线/无线冗余备用网络控制

(2) AR 双发选收技术

由于工作面环境复杂，垂直于 5G 网络覆盖方向的金属物太多（支架等），“镜子效应”干扰严重，导致采煤机 5G 网络延时抖动频繁，采煤机 5G 地面远控试验伊始很不稳定。



图 5 AR 双发选收技术示意图

2021 年 6 月，麻地梁煤矿与华为、中国移动、上海山源、中煤科工集团上海天地科技股份有限公司，全国首次将华为公司 AR 双发选收技术应用于采煤机端到端控制。在煤机终端与地面调度集控室均布署 1 台 AR 双发选收交换机，煤机或地面煤机集控上位机发出的数据通过 AR 双发选收交换机复制成 2 组数据包，通过 AR 交换机、CPE 两路 5G 空口链路进行传输，至另一段 AR 交换机时，从两组数据包择优选择延时低的进行收取、组合。

2021 年 7 月，该技术试验成功并投入日常安全生产，至今稳定运行 14 个月。

(二) 技术装备安全性与先进性

1. 基于 AR 双发选收技术，实现采煤机 5G 远控稳定运行至今已超过 1 年，有效解决了采煤工作面垂直于 5G 网络覆盖方向金属物太多（液压支架等），“镜子效应”干扰导致采煤机 5G 网络延时抖动频繁的问题，为全国首例。具备商用条件，具有极大的推广、应用价值。

2. 与中煤科工集团上海天地科技股份有限公司合作研发有线光纤、5G 冗余备用技术，解决了传统矿井采煤机有线光纤通讯易折断、无线 Wi-Fi 通讯不稳定的技术瓶颈。保障了采煤机 5G 远控、光纤备用远程控制的稳定性与安全性。

三、建设成效

麻地梁煤矿智能化开采通过 2 年多的智能开采探索与实践，在安全、效率、

效益、机制创新、理念提升等方面取得了一系列成效，并通过长期的生产运行得到了有效巩固。成效如下：

1.实现了本质安全。通过 5G+智能开采的应用，麻地梁煤矿采煤工作面实现了机械化、自动化、智能化的原煤开采，操作工变为巡检工，作业形式变为巡检和人工干预。采煤机司机身着西装坐在明亮的办公室内进行远程割煤。实现了关键岗位“无人则安、少人则安”。

2.通过 5G 技术赋能，实现了高效生产。800 万 t 矿井，两班生产，工作面按 3 人配置（顶板及面内地质条件差时，需配置 5 人）即可满足正常生产工作，比传统的综放工作面每班减少固定岗位工 15 人，有效降低了矿井人工成本。

3.实现了机制创新。全国范围内率先取消了设备检修班进而取消了夜班，改变了员工“一天三班倒、24 小时连轴转”的传统作业模式。一线员工不再上夜班，让员工回归正常的生活，是企业“以人为本”的真正体现，同时也规避了夜班疲劳作业带来的安全风险。

4.通过设备全生命周期管理、智能检修系统让设备检修工实现精准检修、提高了检修效率。同时，基于全生命周期设备、备件更换模式，实现设备像家用轿车 4S 店保养一样的管理模式，以换代修，避免设备带病运行和过度运行造成的班中损坏以及抢修带来的生产影响及安全隐患，降低设备故障率，提高工作效率。

案例 40 晓南煤矿智能化采煤工作面

主要完成单位：铁法煤业（集团）有限责任公司

一、主要建设内容

（一）设备布置情况

1. 支护设备情况

晓南矿北一 1406 工作面共安装 120 组液压支架，其中过渡液压支架 4 组，端头液压支架 5 组，中间液压支架 111 组。运输巷超前支护安装 2 组替棚支架（加长改造），回风巷超前支护安装 3 组替棚支架。该工作面液压支架及替棚支架使用电液控制系统，使液压支架实现了自动控制。

2. 落煤、运煤设备情况

工作面落煤采用 MG450/1050-WD 型号采煤机；运煤采用 SGZ800/800 型号刮板输送机、SZZ800/315 型号转载机以及 PLM2000 型号破碎机。

（二）应用情况

晓南矿北一 1406 工作面自动化系统主要由液压支架电液控制系统、智能集成供液系统、综采自动化控制系统等组成。以实现综采工作面常态化无人作业为目标，以采煤机记忆截割、液压支架自动跟机及可视化远程监控为基础，以生产系统智能化控制软件为核心，实现在井下、地面综合监控中心对综采设备的智能监测与集中控制，确保工作面割煤、推溜、移架、运输、消尘等过程智能化运行，达到工作面连续、安全、高效开采。

1. 液压支架电液控制系统

对液压支架实施自动化控制，接入煤矿信息化系统，实现北一 1406 工作面综采设备信息的实时共享和分析。

实现支架状态监测功能：包括压力、推移行程等；实现邻架、成组操作、自动跟机移架、自动跟机推溜、自动补压等，能够有效提高液压支架的动作速度，减轻工人的劳动强度，确保生产安全。

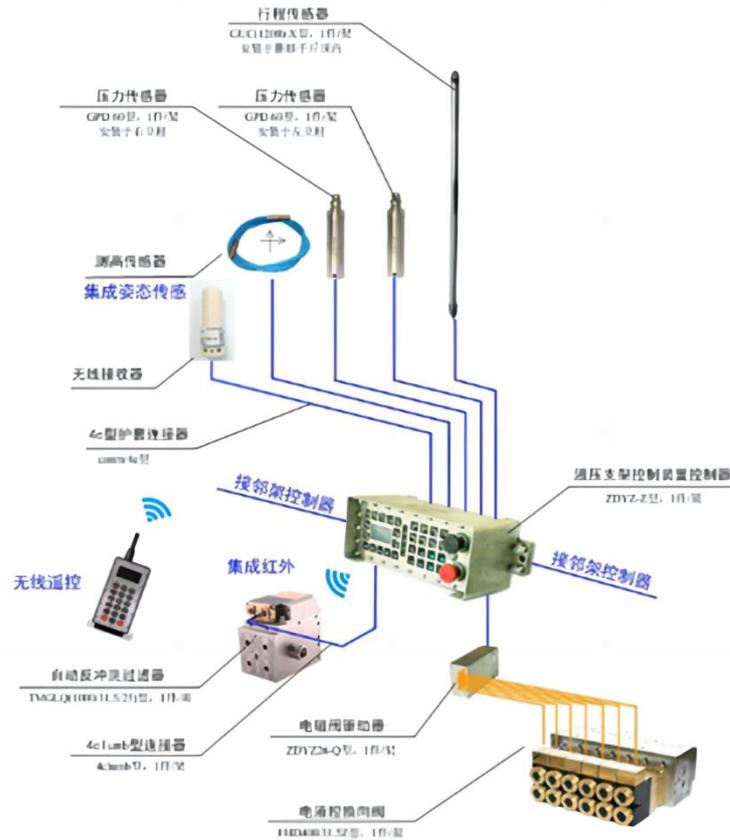


图 1 液压支架电液控制系统组成示意图

2. 智能集成供液系统

该系统是集泵站、电磁卸载、智能控制、变频控制、乳化液自动配比、多级过滤及系统运行状态记录与上传为一体的供液方案，为工作面提供恒压、清洁、配比稳定的高质量乳化液。

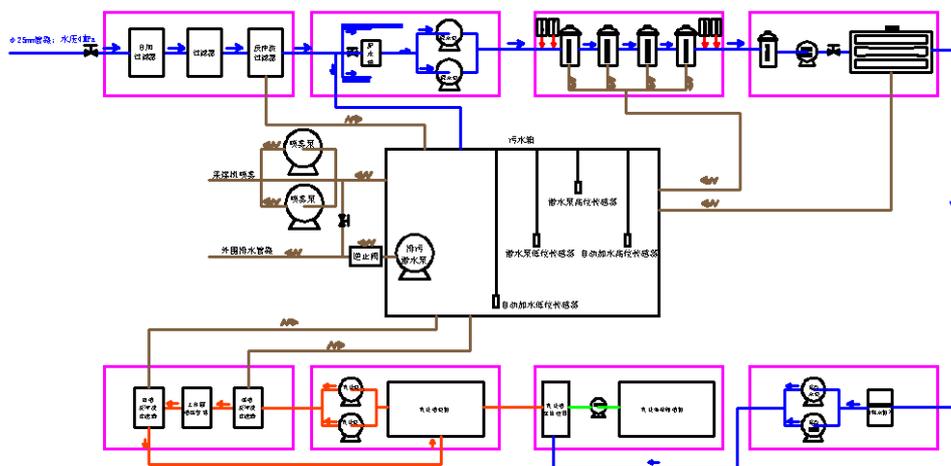


图 2 智能集成供液系统示意图

3. 工作面自动化控制系统

该系统是在北一 1406 工作面单机设备自动化基础上，建立以监控中心为核心，工作面视频、以太网、远控为基础的集中自动化控制系统。采用拟人手法，把人的视觉延伸到工作面，将工人从危险的工作面采场解放到相对安全的工作面巷道监控中心，实现在工作面巷道监控中心对液压支架、采煤机、刮板输送机、转载机、破碎机、带式输送机、泵站、开关等综采设备进行远程操控，达到“无人化”开采。

4.采煤机智能化系统

采煤机运行状态下可监测采煤机采高、温度、压力等数据。根据工作面参数可实现采煤机工艺段自动记忆截割功能。

（三）技术应用

1.液压支架跟机自动化与远程人工干预技术

在液压支架电液控制系统实现全工作面跟机自动化的基础上，依据电液控制系统的技术与液压支架视频相结合，通过监控中心远程操作台对液压支架进行人工干预，以满足北一 1406 工作面液压支架的自动化控制。

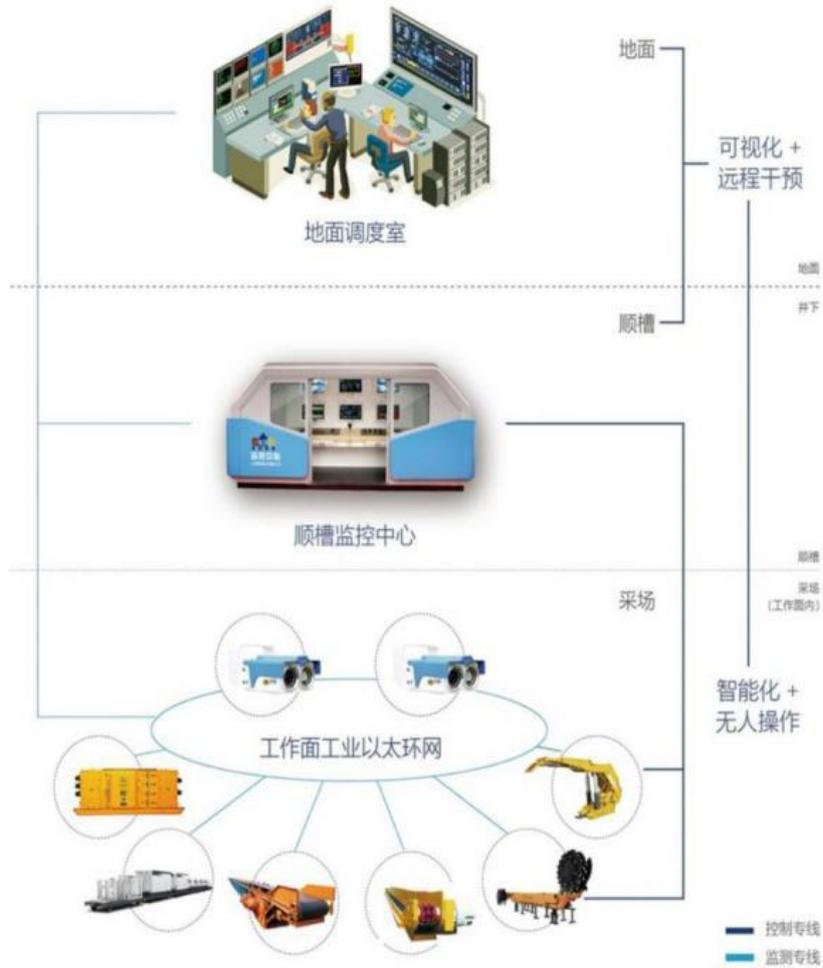


图 3 自动化控制系统构成示意图

2.采煤机记忆截割与远程人工干预技术

在采煤实现全工作面记忆截割的基础上，依据采煤机实时数据与煤壁视频相结合，通过监控中心远程操作台对采煤机进行远程人工干预，以满足北一 1406 工作面采煤机的自动化控制。

3.工作面视频监控技术

根据北一 1406 工作面实际情况，设计安装视频监控系统，实现在井下监控中心和地面指挥控制中心对整个工作面的视频监控。每 3 组支架安装 1 台煤壁摄像仪，每 6 组支架安装一台支架摄像仪，重点部位安装云台摄像仪，实现工作面全方位监控。由红外线传感器获得采煤机位置，通过软件处理实现摄像仪跟随采煤机无缝切换。



图 4 工作面集中控制室现场监控图

4.采煤工作面自动化集中控制技术

构建集成控制系统，实现对北一 1406 工作面主要设备单机控制系统的有机整合（包括采煤机、液压支架、运输设备、供电设备、供液设备等），实现巷道健康中心和地面指挥控制中心的集中控制和一键启停。

5.智能化集成供液控制技术

对远程配液站、乳化液泵站、喷雾泵站等设备控制系统进行集成，形成统一调配运行的智能化集成供液控制系统，提高供液系统自动化水平及运行效率，降低系统损耗及能源消耗。

6.远距离供电、供液新工艺技术

将变电列车及乳化液泵站设置在北一 14 层皮带中巷与工作面运输巷联络道内，远距离供电、供液，与传统工艺相比，不需要移动变电列车，只需在回撤运输巷铺设拖拉电缆及供液管路。有效提升了生产效率，降低了员工劳动强度及牵引变电列车的危险系数，从根本降低安全隐患产生的概率。

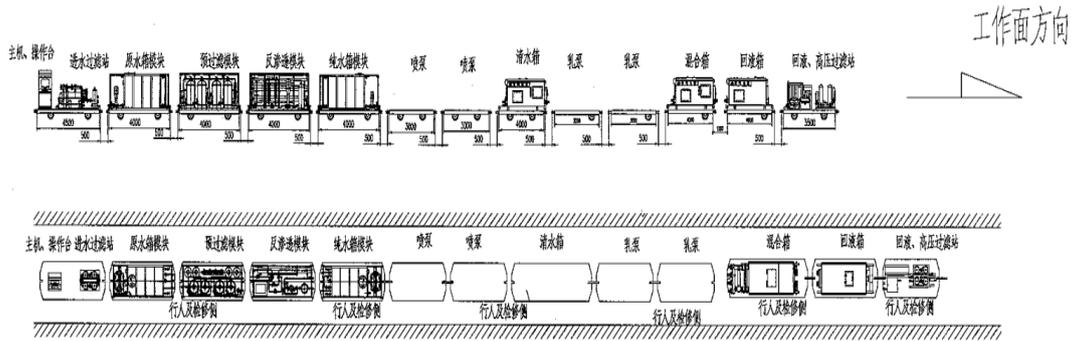


图 5 工作面集成供液列车布置图

二、技术特点及先进性

1.智能采煤系统应用情况

井下集中控制室和地面调度指挥中心通过“一键控制”，对晓南矿北一1406工作面的皮带机、破碎机、转载机、运输机、采煤机等整个采面设备的进行启停操作，简化了生产过程中设备启停的操作流程、减少了传统方式启停设备的间隔时间。

采煤机实现自动记忆割煤，作业人员根据采场环境的特点，针对性的对采煤机的割煤方式进行相应的参数设置，“教会”采煤机如何运行。依靠液压支架电液控制系统自动跟机移架、推溜等一系列动作，实现工作面无人工自动化割煤。井下集中控制室和地面调度指挥中心作业人员通过监控系统对采煤机、液压支架运行情况进行实时监控，当工作面局部构造需要调整采煤机或液压支架时，通过远程控制的方式进行人工干预。现场巡查人员也可通过采煤机遥控器、液压支架控制器近距离进行人工干预。

2.项目应用产生的经济效益

相比薄煤层使用的进口刨煤机配套设备，智能化国产采煤设备能够减少设备总体成本 5000 万元左右。

三、智能化建设成效

1.工作面作业人数情况

智能化采煤设备投入使用后达到了减人增效的效果，工作面生产期间生产班组由原来的 15 人减少为 7 人，实现无人则安、少人则安的目的。

2.工作面效率提高情况

传统综采工作面回采工效为 87t/工，刨煤工作面回采工效为 125t/工，智能采煤工作面回采工效为 153t/工。

3.现场环境改变情况

生产期间有人巡视无人操作，特殊情况下才需要人工干预，劳动强度大幅降低。新型电液控液压支架性能稳定强、支护强度高、移动灵活，架间不掉浮矸、底板无浮煤，降低了清货工的劳动强度。

4.安全系数提高情况

以往采煤机需员工进行现场操控，而智能化采煤机通过自动记忆割煤，由集控中心实现一键启停，可实现自动化无人作业，特殊情况通过远程人工干预调整支架状态，工作面内支架工只负责巡视和故障处理，实现工作面转载点无人作业。

案例 41 东怀煤矿 5G+智能综采工作面

主要完成单位：广西东怀矿业有限责任公司

一、主要建设内容

东怀煤矿 5G+智能综采工作面自动化控制系统以地面监控平台及顺槽监控平台为核心，搭配 5G 工业网关和各类管理系统，由 5G 工业网关负责采集采煤机、刮板机、转载机、破碎机、泵站、仪表、液压支架、摄像头等终端设备的数据采集，并通过空口上传到数据中心，配备网关管理系统对网关进行配置管理，完成现场生产数据采集及现场环境的监测。系统由顺槽集控中心、三机控制装置、泵站控制装置、工作面通信控制装置、采煤机电控装置接入、液压支架电液控制装置接入、供配电设备数据采集装置、人员定位系统、图像监控系统等组成。

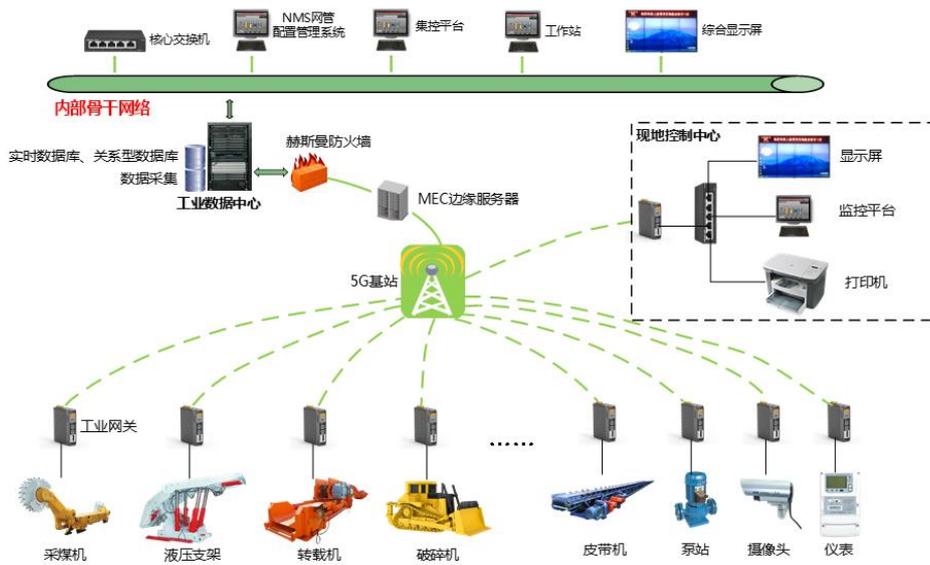


图 1 5G+智能综采工作面自动化控制系统

（一）采煤工作面顺槽集控中心

智能综采顺槽集控中心是综采工作面智能化系统的智慧开采大脑，以液压支架电液控制系统为核心，同时建设采煤机控制系统、三机控制系统、顺槽皮带控制系统、泵站控制系统、工作面千兆以太网系统、高清视频监控系统、人员定位系统等子系统构成具有感知和协同控制的工作面智能化成套联动控制系统，达到“工作面自动控制为主、人工干预为辅、远程实时监控指挥”的智能化生产模式，

对潜在隐患进行预测和预防，提高设备正常率和开机率，实现安全高效生产。



图2 智能综采顺槽集控中心

（二）三机控制装置

三机（刮板机、转载机、破碎机）控制装置由可编程控制器、隔爆兼本安型电源箱（独立控制时需要配置）、本安型控制器、铠装接插电缆、铠装接插网线、压力传感器、温度传感器、振动传感器、位移传感器、隔爆兼本安型电动球阀、本安型电磁先导阀等设备组成。其主要功能有：

- 1.集控室启停、无线遥控启停、就地启停与管理，实现一键启停、连锁和互锁；
- 2.满足变频、高低速、TTT 等多种驱动方式的控制；
- 3.电机、齿轮箱的冷却水压力、冷却水温度的监测保护；
- 4.电机绕组温度、减速机油温、输入轴温度、输出轴温度的监测和保护等。

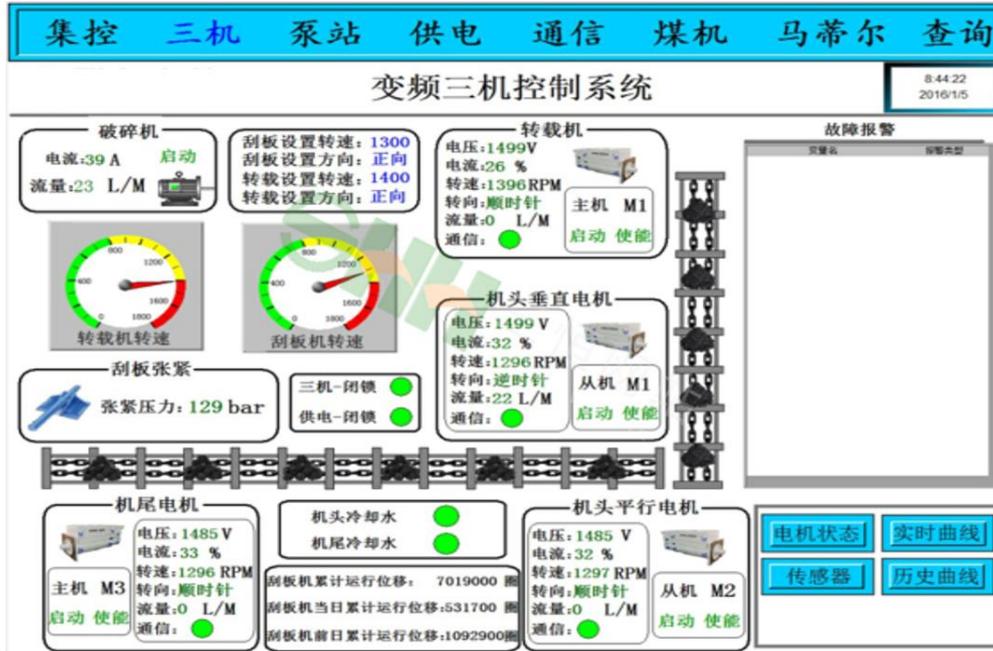


图3 三机控制装置

（三）泵站电控装置

泵站控制装置可以控制变频乳化泵和喷雾泵站，实现泵站的启停控制、保护及恒压供液。其主要功能有：

1. 乳化泵、喷雾泵的润滑油温度、润滑油压力、润滑油油位、进液口压力的监测与保护；
2. 自动控制乳化泵站电子卸载阀，实现系统压力低泵站自动加载，系统压力高泵站自动卸载；
3. 泵站欠压启动：泵站运行时，系统压力低于设定值时，备用泵站自动启动；
4. 泵站空载停车：当泵站一直处于空载状态运行时，系统自动停止泵站；
5. 泵站故障切换功能：泵站运行时，运行中的泵站突发故障停车，备用泵将自动启动；
6. 泵站运行时间均衡控制：系统记录每台泵的运行时间，并自动均衡每台泵的运行时间。

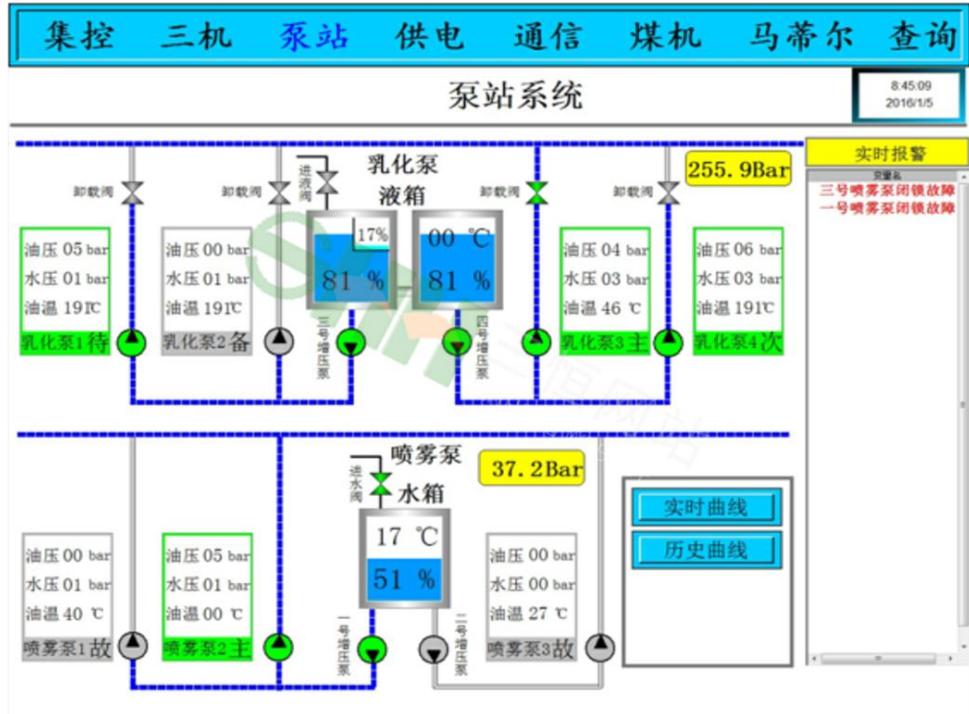


图 4 泵站电控装置

（四）工作面通信控制装置

工作面通信控制装置用于控制刮板输送机、转载机、破碎机的启停；工作面沿线和顺槽的语音通话、打点、预警，工作面设备的急停闭锁等。其主要功能有：

- 1.实现远距离通信控制功能，集控室与工作面距离可达 2000m；
- 2.具有运行状态、沿线电缆状态、沿线电话状态、控制器自检信息及其它连锁设备运行状态等显示功能，可检测沿线电缆的断路位置；
- 3.实现对沿线每台设备电源的监控，包括沿线电源的电流和机尾的终端电压。

（五）采煤机电控装置接入

采煤机电控装置可将采煤机数据通过数据协议传输到集控中心，实现以下功能：

- 1.通过集控操作台，远程操作采煤机的牵引，摇臂升降和电机的启停；
- 2.采煤机加装摇臂倾角传感器、机身倾角传感器、编码器、位移校准传感器，具备记忆截割功能；
- 3.具备记忆割煤人工干预功能，并自动记忆人工干预的结果，用于下刀煤的记忆截割；
- 4.可以显示采煤机的所有状态，具备故障诊断功能；

5.可扩展等高割煤法和煤层曲线割煤法。

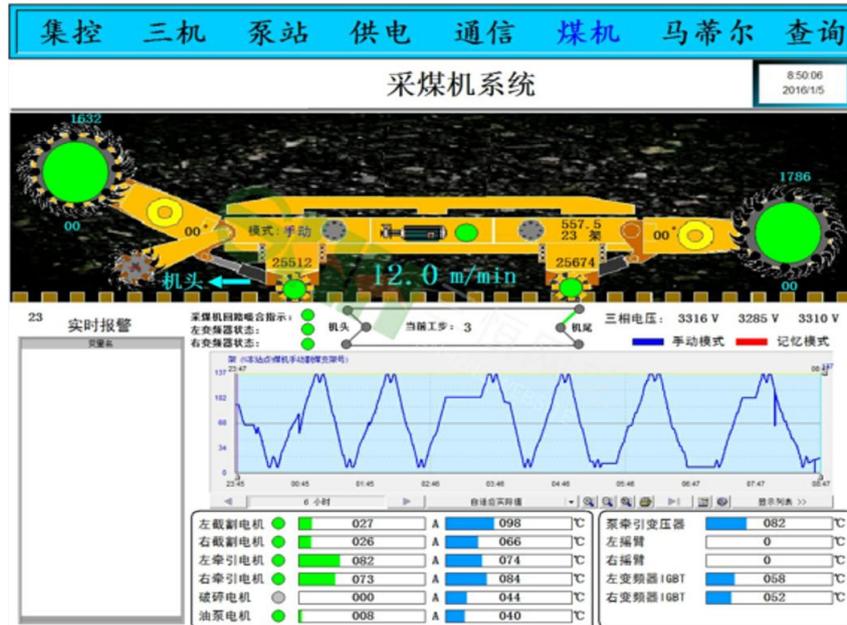


图 5 采煤机电控装置

(六) 液压支架电液控制装置接入

液压支架电液控制装置通过数据协议将数据传输到集控中心, 实现以下功能:

- 1.通过集控操作台远程操作支架独自或成组收打护帮板、移架和推溜;
- 2.具备支架自动跟机拉架功能;
- 3.具备自动补压功能;
- 4.具备自动推移转载机和皮带机自移机尾功能。

(七) 供配电设备数据采集装置

供配电设备数据采集装置包括对工作面移变、组合开关、磁力启动器、馈电和照明综保等设备的监控, 其主要功能有:

- 1.以太网/RS485/CAN 总线通信控制与复位;
- 2.设备数据上传;
- 3.设备的无线遥控;
- 4.设备的远程参数设置与整定;
- 5.实现一键启停、连锁和互锁。

(八) 采煤工作面人员位置监测

采煤工作面的人员位置监测是基于 UWB 技术的精确人员定位系统, 依托

IPRAN 环网，实现 5G 信号基站或交换机与精确人员定位分站数据交互，可以合理布置分站，减少布线，方便维护。

整个系统融入了精确定位功能，三维 GIS 功能，双向通讯功能等，涉及了电子技术、数字通讯、无线传感网络技术、无线定位技术、GIS 技术等多种技术，为生产调度、井下救援等提供可靠支撑。系统由 KJ128D-F3 定位读卡分站、KJ128-K1 标识卡、KDW660/24BJ 矿用多路隔爆兼本安直流稳压电源、计算机等设备组成，整个系统融入了精确定位、三维 GIS、双向通讯等功能。其主要区别于区域定位功能有：

1. UWB 定位技术，定位精度可达 30cm，能够精确显示人员所在位置；
2. 三维图像功能，能够直观的显示人员位置分布；
3. 工作面超员报警，当工作面的作业人数超过所定最大工作人数时，系统将会报警提示；
4. 求救呼叫功能，当工作人员在工作面遇到险情，可通过定位卡上的紧急呼救按钮，向调度指挥中心求救。

此外，系统还具备实时信息查询、工作超时报警、历史信息查询、多系统融合联动、故障自诊断、自评估和联网功能。

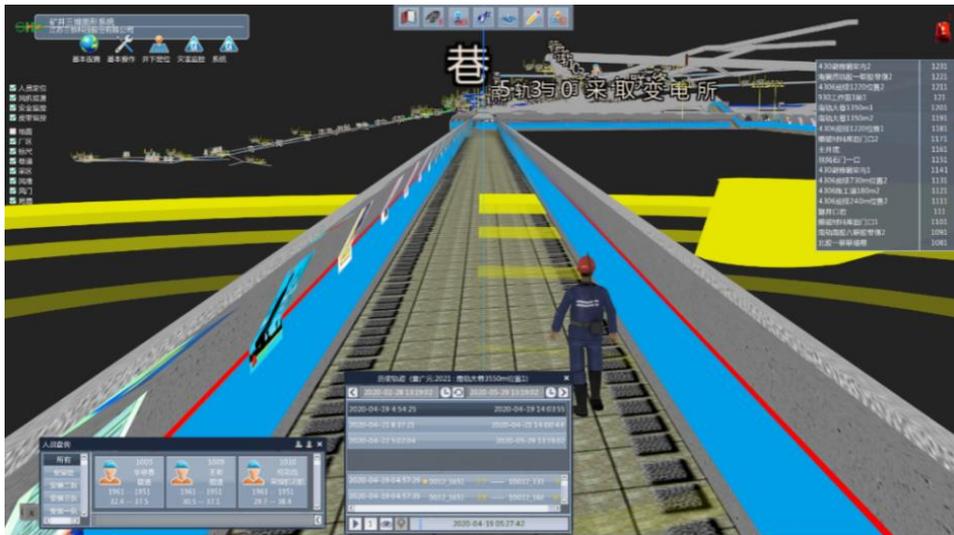


图 6 人员位置三维图

（九）采煤工作面无线通信

采煤工作面在进、回风巷，采面中部一共安设了 4 台 5G 基站，信号覆盖了整个工作面，作业人员能够通过 5G 防爆手机进行移动电话联系，相比于传统的

固定有线电话、5G 电话更便捷和高效，对于日常检查的管理人员来说，能够实时地将采煤工作面存在问题隐患以及生产情况反馈至调度指挥中心，实时地调整生产决策，实现高效生产。

（十）采煤工作面视频监控

采煤工作面视频监控以 5G 无线网络作为视频监控的主干线，凭借其超大带宽，支撑超多路高清视频回传，部署灵活。

1.200M 带宽：无线基站采用 200M 带宽，下行峰值速率可达 2.7Gbps 以上。

2.上下行翻转：采用上下行 3: 1 时隙配比，实现上行峰值速率达到 1Gbps 以上，单路 4K 视频上行速率基本需要 30Mbps 以上，5G 网络支持规模商用 4K 视频回传。

二、技术特点及先进性

系统基于 5G 通信网络，搭配 5G 工业网关和各类管理系统，由 5G 工业网关负责采集采煤机、液压支架、转载机、破碎机、皮带机、泵站、仪表、摄像头等终端设备的数据采集，并通过空口上传到数据中心，配备网关管理系统对网关进行配置管理，完成现场生产数据采集及现场环境的监测。通过 5G 工业网关，利用 5G 无线传输来代替传输专线，可有效的避免有线线路断裂的问题，减少井下线缆维护人员。同时 5G 的 uRLLC 超高可靠低时延特性可支撑采煤机远程控制低时延需求，为煤矿井下的无人开采打下坚实的基础。

三、智能化建设成效

经济效益：通过项目建设，预计可减少 12 个生产作业人员，每年可节省 173.52 万元人工成本。

安全效益：对全矿井各生产管理环节进行有效的实时监控，不断消除事故隐患，提升安全生产综合管理水平，提高对安全生产突发事件的应急处置能力，减少事故造成的人员伤亡、财产损失。

社会效益：适应国家和自治区对煤炭行业推广智能化煤矿建设的需要及一级标准化矿井建设需要，提高信息化、自动化水平，达到广西智能化煤矿试点单位要求。

第四章 智能露天

案例 42 宝日希勒露天煤矿极寒环境下 5G+无人驾驶卡车编组运行

主要完成单位：国能宝日希勒能源有限公司

一、主要建设内容

露天煤矿在矿区运输问题上的痛点日益凸显，首先，矿山地理位置相对偏僻、生活环境相对较为封闭、生产条件相对艰苦，随着社会的进步及生活品质的提高，当前招工困难的问题日益凸显，年轻司机从业意愿低，高综合素质工人的招聘难度逐年加大；另一方面，传统的有人驾驶作业模式，其运输效率已接近瓶颈，在不变更作业模式的情况下，很难再有实质性的提升；同时，无论矿区作业规范如何改进和实施，人作为生产主体所带来的安全生产风险始终难以从本质上消除。相比于有人驾驶，无人驾驶具有工作效率更高、人力成本更低、安全性更高、运输管理更为科学等一系列优势。大型矿卡无人驾驶技术的应用将有利于防范化解生产安全风险，减少直接参与生产的人员数量，实现“少人则安、无人则安”的目标，加快实现露天矿减人、降本、增效。无人驾驶技术的研究与推广将大大提高设备生产效率，减少设备因人为操作不当造成的损耗，大幅度节约人工成本，解决运输岗位“招工难”问题，有效解决司机老龄化、年轻司机从业意愿低、人力及管理成本逐年增加等问题。是我国采矿行业由大变强，实现两化融合的重要标志，具有影响深远的重大意义。

（一）建设情况

国能宝日希勒能源露天矿地处高寒地区，最低气温为-50℃，属大陆性亚寒带气候，冬季时间长且寒冷，自卸卡车用于露天煤矿岩石和煤炭的运输，每天 3 班 24 小时连续运行，每台设备至少需 4 名司机倒班工作，作业条件艰苦，工作环境恶劣，需要克服极寒气温、湿滑道路变形、排土挡墙松软畸形等难题，因此“无人化、少人化”已经迫在眉睫。

本案例针对极寒型复杂气候环境下露天矿山作业特点，以及国内外无人驾驶卡车技术现状，以推动智慧矿山建设为出发点，在极寒型复杂气候环境下，针对露

天矿山生产作业场景，基于 5G 通讯网络，改造矿山已有的自卸卡车为无人驾驶卡车，与电铲、推土机等工程机械，洒水车、平路机、指挥车等辅助作业车辆组成联合编组单元，进行露天矿山的采集、运输、排卸生产作业。通过工业试运行验证，系统安全可靠，各项性能指标满足使用需求，多项技术指标达到国际同类行业领先，可实现露天矿山安全高效生产，降低运营成本和维护成本，延长设备使用寿命，改善工作人员的工作环境，具有较好的社会、经济效益。

（二）主要内容

通过对车辆进行线控改造升级，使之具备接受自动驾驶相关信号的能力，并且可以提供车辆自身的状态信息。为线控改造完毕的矿用自卸卡车搭建一个基于定位、感知、控制、规划、决策、地图、安全、健康等模块的车载无人驾驶系统指导线控车辆的无人驾驶行为用以实现自主的无人化行驶。研发的平行矿山操作系统包括 6 大核心子系统：云端智能调度与管理系统、矿车无人驾驶系统、挖机协同作业管理系统、无人运输仿真系统、远程驾驶系统和 V2X 车路协同感知系统。

为了保障无人驾驶矿用卡车在露天环境下安全平稳行驶，在实际作业之前，对其车辆性能、运行效率、软件稳定性和安全性进行全面的仿真测试。无人运输仿真系统在采集矿区实际地理数据及车辆动力学数据之后，可以构建一个数据化的模拟环境，在这个环境中进行大量的测试工作，可以大大的提高无人驾驶矿山的稳定性和安全性，为最终的实际生产运输提供安全保障。

车-路-云传输与路侧感知系统是为了更加充分的采集矿区实时信息，对关键的路段进行 24 小时实时监控，采集道路信息、车辆运行信息，从而辅助其他无人驾驶系统为安全生产提供助力。

（三）工作经验

项目在运行期间，针对极寒气候，采用业内最高配置的耐低温传感器和航空级别零部件和接口，确保在矿区极寒、颠簸环境下运行的可靠性，历经矿区极寒型（零下 42℃）复杂气候等工况环境的严格考验，完成了无人驾驶卡车自主编组运行、有人无人矿卡混编运行、多种设备协同作业等测试，项目的安全性、可靠

性、系统稳定性均得到验证，形成无人驾驶卡车与挖掘机、遥控推土机、平路机等辅助作业车辆完整的露天煤矿无人运输作业系统。在效率提升方面，持续降低硬件系统故障率、提升软件系统稳定性，确保无人驾驶系统的高可动率；以卸载物料残留检测、二次提车卸载、地图自动采集与一键更新、道路平整度自动检测、防车辙均衡碾压控制等确保系统运行连贯性、提升有效作业时长。历经封闭场地动态测试、模拟场地协同测试、仿真环境协同测试、真实场地工业试运行测试，完成了真实作业场地的单班作业、3 班作业，通过了极寒及各种复杂气候条件的考验，安全平稳完成各项试验工作。对比有人生产作业，通过了严格的考验，系统地安全性、可靠性、经济性、科学性和整体性能得到了充分的验证，总体技术方案合理可行。其创新、科学、安全、高效的特点得到了相关专家、矿区领导及一线员工的一致认可。

该场景填补了当前极寒地区矿山设备无人化技术领域的多项空白，宝日希勒露天煤矿无人驾驶经验真正的可复制、可推广，前景非常广阔。可向全国各地气温环境推广；土方剥离可行，以最复杂、难度最高的露天煤矿土方剥离示范运行，可向全国煤矿、金属矿、有色矿推广；以全线控化改造国外品牌矿卡实现编组运行，并能适应品牌/型号/性能差异，可快速推广实施到全国任意品牌型号矿卡无人驾驶改造。

二、技术特点及先进性

该场景自实施以来，实现“五项第一”，世界首个极寒环境无人矿卡编组运行示范项目、世界首个 5G SA 独立组网露天煤矿无人驾驶项目、国内首个 200 吨级以上矿用卡车无人化改造项目、国内首个实现全天候三班无人化编组运行项目、国内首个实现矿用卡车无安全员编组运行项目。荣获了 2020 年度国家能源集团奖励基金一等奖；中国煤炭工业协会 2019-2020 年度煤炭行业两化深度融合重点推荐优秀项目；中国煤炭工业协会 2021 年度煤炭行业标杆案例；2021 年工业和信息化部举办的“绽放杯”5G 应用征集大赛矿山专题赛一等奖等荣誉。2022 年，由国能宝日希勒能源牵头编制的《露天矿无人驾驶运输系统技术规范》中的 5 项规范更是被列入了 2022 年煤炭行业 59 项团体标准制定计划，标志着煤炭行业全

面围绕露天煤矿生产作业制定的无人运输系统综合性标准体系的首次建立。

在运行期间，针对极寒气候，采用业内最高配置的耐低温传感器和航空级别零部件和接口，确保在矿区极寒、颠簸环境下运行的可靠性，历经矿区极寒型（零下 42℃）复杂气候等工况环境的严格考验，完成了无人驾驶卡车自主编组运行、有人无人矿卡混编运行、多种设备协同作业等测试，项目的安全性、可靠性、系统稳定性均得到验证，形成无人驾驶卡车与挖掘机、遥控推土机、平路机等辅助作业车辆完整的露天煤矿无人运输作业系统，成果达到国际先进水平。

在效率提升方面，持续降低硬件系统故障率、提升软件系统稳定性，确保无人驾驶系统的高可动率；以卸载物料残留检测、二次提车卸载、地图自动采集与一键更新、道路平整度自动检测、防车辙均衡碾压控制等确保系统运行连贯性、提升有效作业时长。

截至目前，5 台无人驾驶卡车在无人运输作业管控平台的指挥下与 1 台 35 立电铲、1 台推土机协同满载运行，累计运输里程 60663 公里，运输 10735 车次，累计土方剥离量 74 万余立方米，其中，无安全员作业累计完成运输 2641 车次，运输里程 19176 公里，累计土方运输量 17 万余立方米。该场景的实现填补了世界极寒地区矿山设备无人化运行的空白，是我国采矿行业由大变强、实现两化融合的重要标志，具有影响深远的重大意义。

2021 中国 5G+工业互联网大会于 11 月 19 日至 21 日在湖北武汉成功举办，期间召开了以“5G 矿山，掘进未来”为主题的“5G+矿山”专题会议。在专题会议上，中国煤炭工业协会联合中国移动、华为、国家能源集团等共同发布了《5G+煤矿智能化白皮书（2021 版）》。宝日希勒露天煤矿无人驾驶项目，凭借其对极寒环境的突破以及全天候、真无人条件下能效的全面提升，入选白皮书典型应用案例。

三、智能化建设成效

本案例主要解决了运输环节决定运力和产量的瓶颈，无人驾驶通过先进的智能控制、协同管理、大数据处理、高精定位、融合感知、智能规划决策等技术，实现了矿卡的无人驾驶运输，推动了“机械化换人、自动化减人、智能化少人”

的高水平安全生产，从根本上杜绝因车辆侧翻、刮碰、失控、跌落等安全事故造成的人身伤害，达到本质安全的目的。

研究成果使用多产业链、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，占领“智慧+能源”生产的技术制高点，填补了当前极寒地区矿山设备无人化技术领域的多项空白，其新技术、新思想、新方法、新工艺、新体系推进了煤炭产业与智能化技术深度融合，加快煤矿智能化建设防范，化解煤矿安全风险，实现煤炭行业高质量和可持续发展，满足矿工对美好生活向往的迫切需求，在国内相关领域起到示范引领作用。

本案例解决了矿区安全、适龄劳动力短缺两大痛点，同时也能为矿企节省成本，提高效率。相比有人，仅无人运输系统可将整体效率提高 30%，节油 15%，轮胎寿命提升 40%，不仅实现人工成本上的减员，更可以达到 24 小时作业。该场景便得到国务院、发改委、人民网、新华网和央视等权威媒体及部委报道。

案例 43 西湾露天煤矿 5G 多频混合组网与矿卡无人驾驶

主要完成单位：国家能源集团陕西神延煤炭有限责任公司

一、主要建设内容

（一）建设背景

神延煤炭西湾露天煤矿地处榆神地区，年产原煤 1300 万吨，露天开采境界 50.77 平方公里，被誉为陕北煤炭市场中的“白菜心”。根据“国能发煤炭(2020)63 号”文件，西湾露天煤矿列入国家首批智能化示范建设煤矿，神延煤炭公司抓住机遇，参照《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》，围绕露天矿山单斗—卡车间断工艺智能化系统“无人化”建设，打造露天矿山卡车无人驾驶运输新标杆，引领行业发展。

（二）建设情况

神延煤炭西湾露天煤矿矿卡无人驾驶运输项目完成了全矿 31 台 220 吨级矿卡无人化改造和 50 台协同车辆改造，并通过 4G+5G 双专网通信系统和地测采管理系统协助支持，搭建了无人驾驶地面调度指挥中心，确保无人驾驶项目安全运行。

2021 年 11 月至今，矿卡无人驾驶运输系统开始三班常态化作业，经受住了富水露天矿山、坑洼泥泞道路、严寒低温等恶劣矿山环境考验，实现了多铲多平盘多卡车编组的工业化生产，制定了一系列无人驾驶矿山基础建设和作业标准，满足露天矿生产要求，通过无人驾驶安全评审，并获得第五届“绽放杯”智能采矿专业赛道一等奖。

（三）主要建设内容

1.4G+5G 双网冗余通信保障

建设了 7 座 4G 专网基站和 8 座 700M+2.6G+4.9G 三频混合组网 5G 专网基站，实现了国内首个采场 4G+5G 双网冗余通信网络覆盖（图 1）。

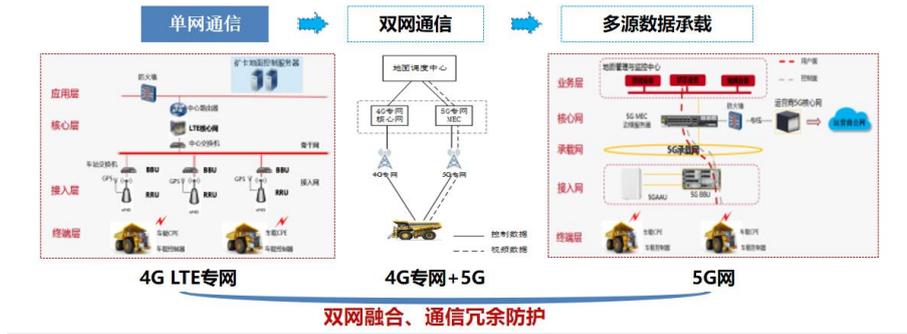


图 1 5G+4G 双冗余

利用 5G 大带宽吞吐、低时延和 4G 广覆盖优势，实现车-路-云-地一体化的多模冗余传输，最大化匹配通信覆盖能力，提高通信链路可用性，降低平盘频繁变化导致通信覆盖不足影响，保障数据传输的安全稳定性，为无人驾驶提供网络保障。5G 通信传输速率测试如图 2。



图 2 5G 通信传输速率测试

采坑 5G 网络在国内首次采用三频混合 5G SA 组网模式（图 3），以 2.6G 作为主力覆盖，同站部署 700M 提升覆盖能力，业务关键区域增加 4.9G 补充上行带宽需求，区域上行均值 50Mbps，下行均值 1500Mbps，时延低于 20ms。发挥 5G “万物互联” 功能，可支撑视频、数据、语音多业务场景的应用，为无人驾驶、无线智能调度、边坡监测等业务提供网络支撑，促进企业数字化转型，最终实现减人、增安、提效。



使用中国移动700M+2.6G+4.9G三频混合组网方案，其中2.6GHz作为主频段，700M频段作为打底广覆盖频段，提升弱覆盖区域网络覆盖能力，4.9GHz频段优化矿区上行大带宽应用需求。

图3 中国移动 700M+2.6G+4.9G 三频混合组网方案

2.地测采管理系统支持

根据无人驾驶技术水平及结合煤矿生产实际需求，以管理系统+工具为建设思路，以 5G 信息化网络为平台，采用多层编程架构设计开发，建立具有三维可视、云端协同、智能决策特点的地测采管理系统，实现无人机扫描数据成图、自动算量，自动布孔、爆破块度预测、爆堆形态模型、采矿设计、境界优化、自动排产、运输路径优化、排土容积计算等功能，为无人驾驶提供技术支持，主要实现以下几点：

(1) 通过资源储量管理建立了包含煤质、含矸率、硫分等关键信息的原始储量模型，为无人驾驶、采矿设计、防排水设计等提供了三维详实的地质模型（图 4）。

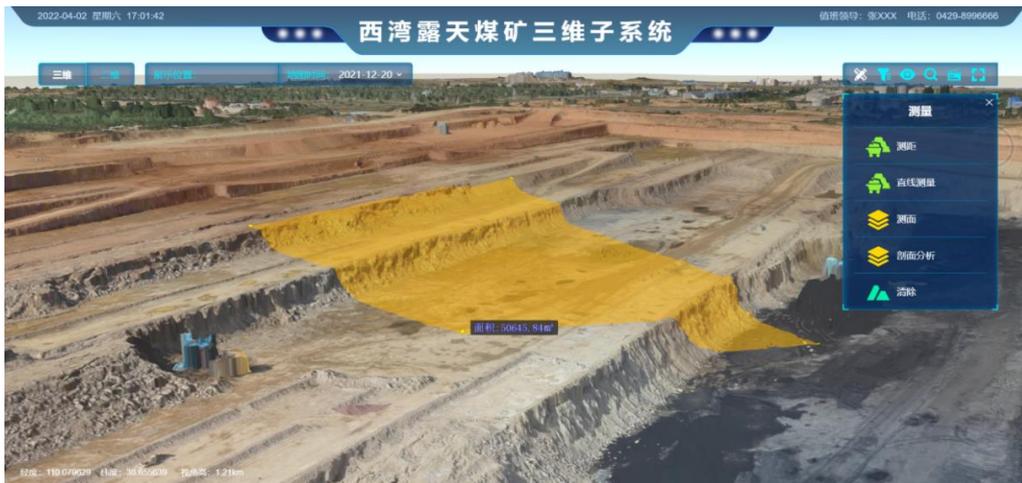


图4 三维地质模型

(2) 采用车载、机载三维激光扫描技术快速获取矿区高清影像数据和高精

度激光点云数据生成三维模型（图 5），为无人驾驶作业提供地图、地形数据。

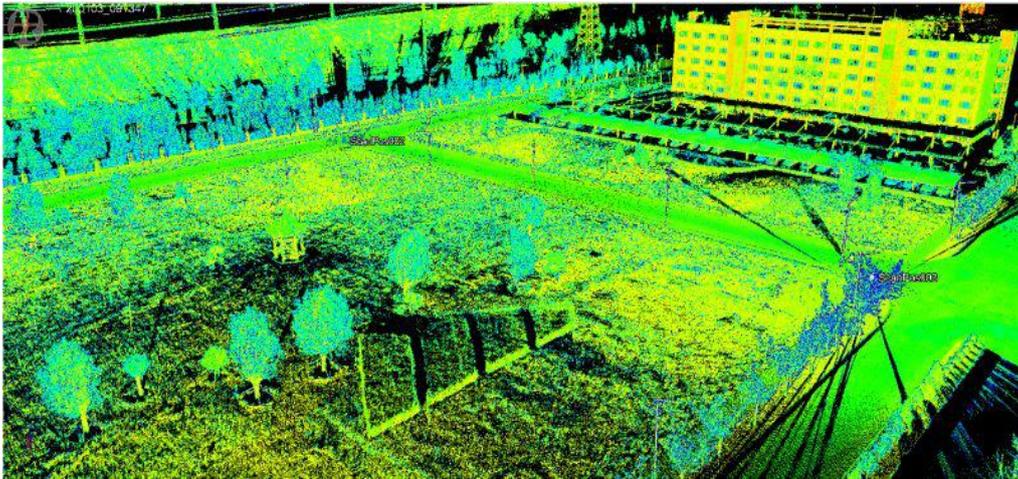


图 5 激光点云扫描

（3）以地质勘探及测量数据为基础资料，建立西湾露天煤矿三维采矿模型，实现开采境界、开采程序、排土场优化及中长期规划、月度、年度设计（图 6），布置无人驾驶生产作业任务，准确规划无人驾驶作业场地、运输路线及排土场。

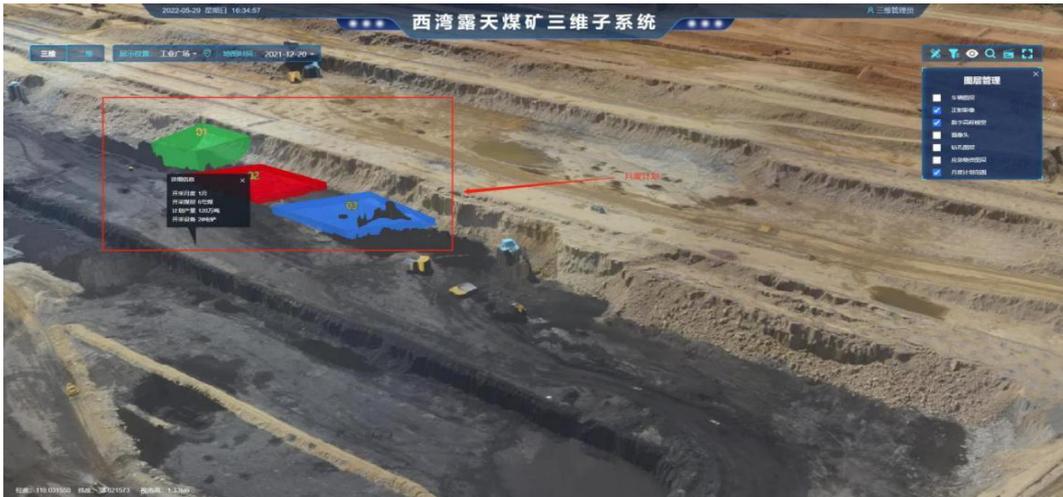


图 6 三维展示系统一月度计划

3.无人驾驶安全性验证

无人驾驶安全性验证先后进行了空载试验场、土方重载试验场、半封闭重载岩石剥离试验场、全开放重载实际作业场等，各阶段循序渐进、由易到难，验证过程科学合理，历程记录清晰。无人驾驶系统安全解决方案如图 7。



图 7 无人驾驶系统安全解决方案

(1) 空载场地主要完成车辆线控标定检测，车辆牵引制动性能有人/无人模块对比，无人驾驶的功能试验、性能、安全导向试验实验，模拟实际作业场景进行问题复现分析解决。

(2) 土方重载试验场进行重载作业模式下安全性能、车辆协同、动态安全防护、挡墙排弃、入铲装载作业等测试过程中出现的问题，在土方现场和空载试验场复测并解决。

(3) 半封闭重载岩石剥离试验场为矿山实际生产场地，解决了入铲装载、水坑坑洼路面、排土场卸载等地点易散落物料及岩石采运过程无人与有人车辆协同作业、协同防护等问题。

4.无人驾驶技术攻关

聚焦无人驾驶矿卡运输现场场景匹配问题，通过不断的技术提升和运营管理模式的优化，高效解决无人驾驶运输实际生产过程中的各类难题，逐步提升矿卡无人驾驶运输系统安全和效率。无人驾驶系统架构如图 8。



图 8 无人驾驶系统架构

(1) 地图融合：基于激光雷达及组合惯导的精确地图边界采集算法，地图采集更加便捷、精确，基于协同车辆的地图动态融合，装/卸载位动态融合更新周期 $\leq 2s$ ，常态化动态更新周期 $\leq 2min$ ，解决矿区作业平盘装/卸载区快速变化导致地图不准的问题，同时用于地测采管理系统地图更新。

(2) 路径规划：基于图搜索+最优控制的全局路径规划算法，解决复杂矿区内全局路径场景的规划效率低、曲率超限等问题。1km 全局路径生成时间 $\leq 500ms$ ，解决百种路况场景最优规划路径生成问题。

(3) 智能配车与调度：建立卡车智能调度管理系统，实现多方位数据监视、统计、查询及分析等功能，并生成生产报告；作业侦测车执行首趟路况探测，系统基于探测结果完成线路调整，根据运距智能分配编组车辆，实现车-铲-卸智能匹配；地面安全防护模块，根据路权计算和优先级保障卡车在电铲附近正常通行和排土场内多车同时排土作业（图 9）。

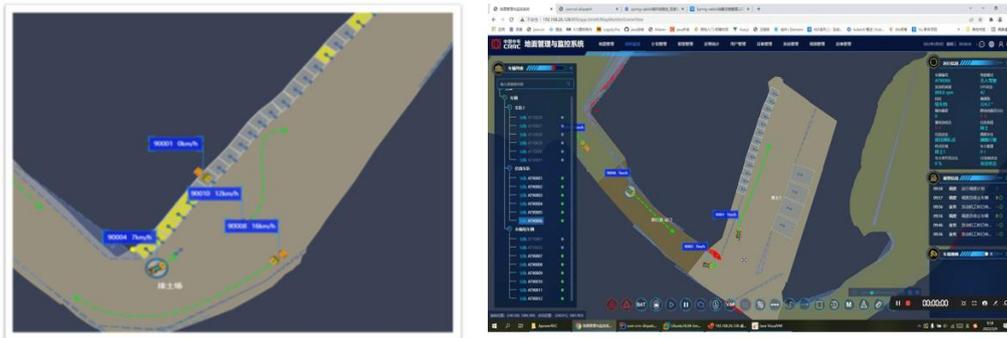


图 9 无人驾驶多车协同作业

(4) 无人驾驶管理保障

建立决策和故障分析知识库，完成 453 项应用场景安全风险点梳理与生产作业测试，编制涵盖通用要求、协同作业、通信要求、车载/地面系统等 10 项作业标准，设计车载控制、协同车辆、应急接管、地面控制四层防护与 4G+5G 双层网络通信一层保障，确保系统安全。

(四) 建设经验

1. 科学推进聚焦场景匹配

矿卡无人驾驶从线控改造到实际融入生产作业，历经了空载试验场、土方重载试验场、和半封闭/开放式作业重载试验场。为无人驾驶落地提供场地建设、建

设标准、作业规范和管理支持，循序渐进每个阶段无人驾驶场景适配，技术攻关。

2.运营与技术协同

共同探索高效安全解决方案，构建常态化多层次沟通交流机制。通过参与班前会，了解作业计划作业环境，进行常态化的问题沟通交流改进，生产人员与技术团队深度融合，共同推进管理办法和建设标准，强化管理与技术互补，以实际生产为目标牵引，加速项目推进，技术深入一线生产现场，聚焦问题处理，快速响应。无人驾驶安全和效率的提升是长期优化改进的过程，通过技术+运营管理模式变更，双轮驱动，矿方与卡车无人驾驶系统供应商互相促进，加强运输作业模式变更后的运营管理、技术培训。路面条件提升将促进无人驾驶作业的安全和效率提高，反之无人驾驶通过信息化智能化手段推动工务精准标准作业等，从而逐步推进全矿智能化水平。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1.系统多维度安全保障

车辆设备可靠：国内首次出厂即完成智能化改造：不改变原车操作、不影响原车功能及维护、不降低原车安全性能；全面监测车辆状态信息。

动态安全防护：精确计算最小追踪间隔，建立决策和故障分析库，保障系统安全。

2.矿区极限路况自适应

复杂路况感知：多种传感器及学习方法的融合，实现极小障碍物的远距离精准全检测。

自适应规划控制：匹配上百种路况场景生成最优规划路径，预判且自适应调整策略，准确安全控制车辆。

3.生产全流程集群调度

依托工务车辆的动态建图系统：为适应装卸载区快速推进和地图实时变化需求，通过全矿区的无人驾驶矿卡车载雷达与摄像头，结合协同车辆的位姿信息，精确采集地图边界，动态实时更新作业地图，无需依靠额外地图采集设备，将地

图更新融入车辆生产过程，不影响生产效率。



图 10 多车智能编组调度

以地面为中心的全局调度系统：以地面为大脑，对全局车辆统一优化调度，提升生产效率。局部自主智能决策的车载系统：局部场景智能决策，极大减少修路、移动基站的等待时间。

（二）适用及推广范围

本项目的实施，可形成一套智能煤矿（露天）标准体系，提升集团内部露天板块的整体竞争力，带动我国露天煤矿的智能化应用，提升管理水平。同时，相关技术可应用于干线物流车、港口运输车等，推进车辆智能化与电动化技术发展，构建生态社会。

（三）先进性及成熟度

- 1.是国内首个一次性通过 33 检测项点的无人驾驶线控改造车辆；
- 2.多编组智能调度技术：实现动态编组下的抗扰动实时调度和效率最优下的编组集群安全防护调度；
- 3.“四层防护，一层保障”：卡车、协同车、远程驾驶、地面控制四层的基于“原车+线控+软件”的安全导向防护体系、“4G+5G”双网冗余的保障技术；
- 4.挡墙精准识别技术：采用感知 AI 技术，精准识别挡墙高度、形态。

三、智能化建设成效

- 1.该无人驾驶项目满足露天煤矿生产要求，通过无人驾驶安全评审，并获得第五届“绽放杯”一等奖；
- 2.国内首次无人驾驶岩石生产作业量突破 582 万立方米，累计运行里程超 17 万公里的无人驾驶作业系统；
- 3.国内首个采用 4G+5G 双网冗余通信的无人驾驶项目，保障“车-路-云”

高安全、高稳定的数据交互；

4.建立运输安全数据库。根据《IEC 61508 标准》，基于人、机、环全流程作业梳理出 453 项安全风险点；引入轨道交通列车安全防护系统理念，建立决策和故障分析知识库；

5.基于专家系统的完备应急处置机制，建立不同层次的性能评估模型，实现系统整车全方位 110 余项状态在线监测与故障预警，防止系统“带病运行”，保证系统安全。

案例 44 胜利能源露天矿基于机器人的智慧运维新模式

主要完成单位：国能北电胜利能源有限公司

一、主要建设内容

储运中心作为胜利能源公司二级生产单位，主要承担胜利露天煤矿煤炭的破碎、筛分、运输、仓储以及装车外运工作，地面系统共有主要生产设备 196 台套、配电室 35 座、带式输送机 32 条，总长度达 31.7 公里。

带式输送机是胜利能源露天矿生产系统的主要运输设备。目前，在日常巡检方面，仍然主要依靠传统的人工往返胶带头尾以“看、听、闻、测”的方式进行，很多隐匿问题仅能通过人的感官和经验进行判断，劳动强度大、实时性差、效率低下，难以快速准确智能化完成巡检任务；在日常的设备维护保养方面，胜利能源储运中心年停送电作业超过 6000 次，而每项作业前都需切断设备动力电源做必要的安全保护，作业流程需经过“线下审批、人工操作、现场确认”等诸多环节，常出现“申请难”“找人难”“审批难”，高峰时间需排号停电，导致检修效率低下，人工停送电操作安全风险居高不下。

在未来的煤炭行业，加快选煤厂智能化建设，将员工从“高风险、高强度、高时长”作业环境中解放出来，最大限度地消除各类安全隐患、节省成本、提高效率，实现自动化减人、智能化少人的智慧运维新模式，已非常迫切。

胜利能源露天矿构建的机器人智慧运维新模式是基于胜利能源自主研发的两款机器人所提出的一种适用于地面生产系统的智慧运维模式，充实了集团煤矿机器人体系。主要体现在三个方面：通过研发《电气开关柜智能操作机器人+智能审批流程》，高效安全科学地完成高低压停送电任务；通过研发《配电室巡检机器人》，实现配电室智慧化无人值守；通过研发《胶带机智能巡检机器人+数字管理监测平台》，实现胶带机无人巡视。新模式的应用，全面提高了配电室内配电网运行的稳定性和安全性，有效保障了胜利能源地面生产系统的智能化、高效化、科学化的运营。

针对国内外现有胶带机巡检机器人和远程分合闸技术的弊端，以及系统从运行到检修相互不交融等问题，胜利能源露天矿储运中心提出以自主研发的机器人为载体，利用成熟技术实现数据采集、远程监测、智能操控全息有保障的闭环互联，打造从“智能巡检-智能检测-智能诊断-智能停送电”到维修保养的完整模式，形成全面感知、实时互联、分析决策、自主执行、动态预测、协同配合的智慧运维体系。

二、技术特点及先进性

（一）配电室机器人协同构建智能配电室

1. 电气开关柜智能操作机器人

自主研发的电气开关柜智能操作机器人，完全模拟人工停送电流程，代替人工完成停送电业务，杜绝操作人员的高风险、复杂重复性停送电操作。开发无纸化停送电审批流程，把审批流程由线下转到线上，解决作业耗时、工作效率低下等问题。在保证作业安全的同时作业效率得到大幅度提高，实现“无人则安、少人则安”的目标。同时，攻克多项技术难题，突破了机器人自主纠偏和机械臂定位等多项技术瓶颈，实现停送电机器人无轨道轴向精确行进、机械臂径向精准操作，成功研发出国内首个高压开关柜与低压抽屉柜操作机器人（图1）。



图1 电气开关柜智能操作机器人

2. 配电室智能巡检机器人

智能巡检机器人是胜利能源露天矿储运中心针对配电室人工巡检出现的问题自主研发的一款机器人，以可见光摄像机、红外热成像仪、其它检测仪器作为载荷系统，以机器视觉-电磁场-GPS-GIS的多场信息融合作为机器人自主移动与自主巡检的导航系统，以嵌入式计算机作为控制系统的软硬件开发平台。



图 2 配电室智能巡检机器人

（二）胶带机巡检机器人协同数字管理平台构建地面生产系统运营新模式

1. 胶带机智能巡检机器人

目前的带式输送机巡检方式，一般以人工巡检为主，而人工巡检不仅工作难度大、工作效率低，而且检测的数据浮动范围也过大。针对上述问题，胜利能源露天矿储运中心自主研发了一种无源自适应能量供给技术、设计了制造行业首个“永动式”胶带机巡检机器人，成功攻克能量供给技术难题，研发出国内首个能适应高寒地区长距离胶带机巡检的免充电“永动型”超薄巡检机器人，可安装在胶带机内部实现 360°全景巡检。

2. 数据管理平台

利用新型机器人+成熟传感器技术，充分发挥大数据作用，建设胶带机数字孪生平台（图 3），实现设备状态分层级实时监控，将设备的运行参数、运行状态以图形、曲线、数字化的形式进行呈现，并对数据进行深度分析挖掘，判断设备健康状态，做到故障预警提醒，实现科学指导设备维护保养，提高使用效率，降低维修成本、实现智慧化管理。



图 3 电气开关柜智能操作机器人

三、智能化建设成效

锚定“机械化换人、自动化减人、智能化少人”目标，对地面生产系统巡检隐患进行针对性的分析研究，研发出《胶带机智能巡检机器人+数字管理监测平台》，通过胶带机传送供应能量，代替人工巡检监察胶带机运行状态，减少噪音、煤尘、设备高温高速等不良因素以及安全隐患对巡检人员带来的风险，保障设备安全平稳运行。

目前，自主研发的《电气开关柜智能操作机器人+智能审批流程》，在高低压停电重点部位已投入使用，通过高低压抽屉柜开关的自动分析与闭合操作，年减少停电次数达 2400 余次，节约停电时间 57600 分钟，停电效率提高 80%，保障了电气开关柜的安全稳定运行，进一步提升地面生产系统的生产效率。

未来，胜利能源公司将把整个地面生产系统打造成多单元交互的智能选煤厂，地面生产系统全方位全时域巡检，设备数据分析，迅速发现问题，智能停电任务，检修任务实现一键式操作，后续我们将积极探索如何实现智慧运维模式的最后一环智慧检修，根据不同检修作业场景、不同检修任务、不同检修设备，积极研发针对不同模式下的检修机器人+平台互联，推进煤炭行业的智能化转型升级与高质量发展。

案例 45 东露天煤矿基于 5G 网络多车编组常态化运行

主要完成单位：中煤平朔集团有限公司

一、主要建设内容

（一）概述

5G 矿用卡车无人技术研究与应用的主要内容是把新一代 5G 通信技术、智能驾驶技术（平行驾驶技术）、车联网等技术充分结合并应用于露天矿山企业的管理和生产活动中，发掘和利用企业信息资源，实现生产安全可控、智能化自动生产、实时监测、定位追溯、报警联动、预案管理、远程控制、安全防范、远程维保、决策支持等功能，实现对露天矿山生产各个环节的“高效、节能、安全、环保”的“管、控、营”一体化平行智慧矿山。5G 平行智慧矿山既可以实现生产过程的智能化和无人化，为打造本质安全型矿山提供保障，也可以实现生产管理的精细化，为打造高产高效露天矿山提供决策手段。

（二）5G 融合应用方案

通过 5G 通信技术和平行驾驶技术将矿山智能网联车（主要为无人矿卡）与路端及云端结合在一起，充分发挥两者优势，建设露天矿山的车-路-云基础环境，打造基于 5G 车联网应用的平行智慧矿山系统。其中车端包括无人矿卡（线控大型矿卡车、线控宽体自卸车），挖掘机系统，以及辅助车辆系统；路端包括路端感知系统以及路端 5G 通信网络搭建；云端包括机群管理与调度系统以及远程应急接管系统；在矿区车-路-云基础环境下能够实现露天矿山无人化作业以及矿山业务流程应用与管理，具备车路协同应用场景，提供车路、车车协同能力，在必要时可以通过 5G 远程接管矿卡车辆，从而实现整个无人矿山从车辆调度、装载作业、无人运输、作业监控、通信安全防护、紧急报警、应急接管的闭环业务流程。系统技术框架如图 1 所示。



图1 系统技术框架

(三) 系统建设

1. 无人矿卡运输系统

以矿用重型卡车为研究载体。通过配备专业传感器和通讯定位系统，开发感知、定位、决策、规划、控制算法，使矿卡具备单车智能。无人矿卡接收中心指令，结合自身位置、周围环境等信息，完成装载、运输、卸载的自动驾驶循环作业。为实现无人矿卡系统的自动驾驶与作业、模式切换、状态检测与显示、信息管理与通讯等主要功能，需要对定位、感知、决策、规划、车辆控制、状态检测、HMI 显示等相关技术进行研究。无人驾驶车载设备平均无故障运行时间 > 120 小时。

2. 采掘设备管理系统

露天矿山开采一般采用大型挖掘机完成地表采矿的剥离和装载工作，传统挖掘机与矿卡通过人工对讲实现有人装载操作，本案例中以矿用挖掘机为研究对象，在其挖机臂上部署关节角度传感器实现挖机臂的监控，通过部署挖掘机装载作业

系统，研发符合露天矿山工艺流程，具有 5G 及车联网实时信息通讯接口，能根据挖掘机的作业过程需要，引导无人矿卡就位、协同无人矿卡完成装载的挖掘作业的系统，该系统可以与无人矿卡系统进行 V2X 通信，实现协同作业，大大提高作业效率，如图 2 所示。



图 2 5G 协同通信

挖卡协同功能，能根据挖掘机和矿卡配合工艺实现挖卡协同工作，通过 V2V 车车通信为无人矿卡制定装载点，并通过与控制中心通信进行最高权限的确认，从而引导矿卡就位；挖机的作业系统界面上能够实时显示矿卡的实时装载重量信息，装载完毕后，能发送信息通知矿卡离开，如图 3 所示。



图 3 电铲矿卡协同

3. 辅助车辆系统

矿上作业场景中会存在很多的其他有人服务车辆，他们作为辅助车辆配合无人作业系统完成矿山的作业流程，因此为了配合作业管理，需要开发服务车辆作业管理系统，是矿山机械机群管理系统运行在矿山其它服务车辆上的终端系统，主要负责对矿山提供辅助性的服务支撑。

二、技术特点及先进性

（一）本案例既有矿用卡车无人驾驶系统的研究与实施，又包括协同作业管理系统的研究与实施，还将建成基于 4G/5G 无线网络的数据通信系统、远程应急接管系统，这些系统的建立，以无人矿山生产指挥调度为核心节点，实现矿用卡车、主采设备、辅助设备的综合调度与管理。

（二）本案例实现了无人驾驶卡车与矿山现有的大量有人驾驶车辆的协同作业，建立采掘设备辅助作业系统、工程设备辅助作业系统和辅助生产设备管理系统，实现采运排智能化生产。

三、智能化建设成效

（一）经济效益

据初步测算，5 台无人驾驶卡车投入运营后，预计每年累计节省约 591 万元支出、可额外增加 50 万吨运输量。人均年工资按照 20 万元计算，对 5 台矿卡进行无人化改造完成后，可替换当前的 16 名矿卡驾驶人员（按四班三倒），每年将节约人工成本 320 万元；由于节省了交接班、休息、就餐等时间，在大雾、大雨等极端天气下可不间断作业，同时受到集中优化调度提效的影响，在设备数量不变的情况下，预计每年可增加 50 万吨运输能力；无人驾驶矿卡通过对大量熟练司机驾驶技能的学习，结合行车控制深度优化，可大幅降低燃油消耗，预计每年可节省 120 万元；由于无人化作业可以避免野蛮操作，也大幅降低了轮胎等备件的损耗，预计每年可节省 151 万元。

（二）社会效益

本案例的实施是 5G 通信技术商业化落地的重要场景，通过此案例的示范应用，可以积极推动 5G 技术在智慧矿山的成果转化。对于传统矿山企业来说，5G+

平行驾驶的结合应用也将是其破茧成蝶的过程，用智能化的手段去管理矿山系统的生产，将使企业朝更有利于企业发展的方向前进，解决露天矿山“数字鸿沟”和“信息孤岛”的现状，促进转型升级。

（三）行业推广前景

国外卡特彼勒、小松等知名企业已经研发出矿山无人化相关的系统，但由于矿产分布与开采涉及到国家战略安全，若引入国外的无人化系统，存在较大的安全隐患。因此开发国产化的矿山无人化、智能化系统可填补国内这一领域的空白、突破国外技术封锁、解决行业突出问题。

案例 46 伊敏露天矿 5G+无人驾驶绿色清洁运输新模式

主要完成单位：华能伊敏煤电有限责任公司

一、主要建设内容

伊敏露天矿是全国第一家大型煤电联营企业——华能伊敏煤电有限责任公司所属的煤炭生产单位。地处世界著名草原——呼伦贝尔大草原鄂温克族自治旗伊敏河镇境内，产能核增至 3500 万吨/年，实现了煤炭产能的跨越式增长，标志着伊敏露天矿大踏步跻身全国最大煤矿行列。

华能伊敏露天矿自 2016 年起逐步开展了智能化煤矿建设工作的深入探索，始终坚持“一次规划、分步实施、一张蓝图绘到底”的建设原则，并逐渐摸索出“五个一”结合“七个精准发力”的“5+7”智能化煤矿建设模式下有序开展建设工作。“五个一”建设标准，即“基于一套标准体系、建设一条高速数据通道、构建一张数据采集网络、搭建一座大数据中心、打造一个综合业务管理平台”，坚持总体规划、分步实施、前瞻性思考、系统性思维和模块化推进的原则，七个精准发力主要体现为七个方面精准建设：时空演化智慧化、生产管控智能化、运维管理智能化、安环监管智能化、经营决策信息化、矿山无人化、设备再电气化。其中，伊敏露天矿在 5G+矿用卡车无人驾驶、纯电动宽体卡车应用场景中更是深入发力，取得了一定成效，形成了基于 5G+多网络融合技术深入开展无人驾驶、绿色清洁运输生产新模式，主要建设内容建设如下。

1.5G 基础网络建设方面

华能伊敏露天矿积极开展 5G+多网络融合研究工作，目前已投运 14 座 5G 基站、350 个桌面 ONU（无缘光网络总端设备）、铺设光缆 78 余公里，实现了矿山生产区域的 5G 网络覆盖（图 1）。现已承载矿山无人驾驶、设备远程遥控、固定设施无人值守、高清视频回传、无人巡检机器人等多个智能化场景。5G 赋能大幅加速华能伊敏露天矿智能化煤矿建设进程。



图 1 伊敏露天矿 5G 网络建设

2. 无人驾驶及电动卡车运输方面

华能伊敏露天矿完成了 4 台 172 吨级自卸卡车、4 台 60 吨级纯电动宽体卡车的无人化改造工作，通过更换、加装车辆底盘电控阀组，实现了车辆油门、制动、转型、灯光控制等横纵向的线控化控制，同时，通过加装激光、毫米波雷达、惯性导航系统、定位设备及车载计算单元，实现了无人驾驶卡车的自主感知和车身控制，并基于 5G 网络结合无人驾驶调度平台实现了车辆的智能调度。同时，完成了三班连续作业能力验证，成为国内首家完成矿用自卸卡车无人驾驶连续作业测试的露天矿山，实现了无人驾驶从技术研发向生产力的转化。

伊敏露天矿组织技术力量对无人驾驶感知技术进行进一步开发、优化，截至目前，实现了安全员下车条件下的坑洼路况识别、障碍物连续自动避障等行业内技术难题的突破，为下一步提升无人驾驶矿卡作业能力筑牢基础。

伊敏露天矿在智能充换一体纯电重卡研究方面也做出了积极探索与实践，目前，伊敏露天矿已投运两座换电站及电动卡车 40 台，其中一期换电站配套 25 台 60 吨级纯电动宽体重卡，二期换电站配套 15 台 80 吨级纯电动宽体重卡，截至目前，年完成剥离量约 417.5 万立方米，累计换电约 0.96 万次，年减少二氧化碳排放 3369 吨，年节约成本约 1053 万元。

二、技术特点及先进性

智能化煤矿建设工作紧密围绕安全生产需求，开展矿用卡车无人化关键技术研究等一批系统建设工作，以此为基础先后主编或参编 4 项国家标准、12 项团

体标准、8 项企业标准。

（一）采用高中低频组网模式实现 5G 网络全覆盖

5G 网络创新性的采用了 4.9Ghz、2.6Ghz、700Mhz 的高中低频组网模式，构建了一张“重点区域高频精准覆盖、其他区域中低频充分保障”的灵活、高效、安全的 5G 专网。同时，搭建融合 5G+N 种专用网络架构，承载无线网、办公内网、办公外网、英特网、视频监控网、IP 多媒体子系统（IMS）、工业控制网等多种业务，真正意义上实现“一张网”，统一承载多种网络，不同种类业务可以按照实际生产工作需要灵活配置并下发。《5G+智慧矿山项目》在由中国信息通信研究院、中国煤炭工业协会、中国移动通信集团有限公司联合主办的第五届“绽放杯”5G 应用征集大赛智能采矿专题赛中荣获一等奖。

（二）构建完成国内首个露天煤矿无人化工作面

无人驾驶系统通过了国家交通运输部科学研究院信息系统测评中心验收评价，整体处于国内先进水平，在技术先进性方面，无人驾驶卡车感知系统能够在软岩、富水、高寒、扬尘、雨雪等恶劣工况条件下通过过滤算法准确识别障碍物，预判障碍物运动趋势并进行自动绕障碍行驶，基于自主研发的底盘控制系统实现车身横、纵向的平稳控制，实现了无人驾驶卡车全工况自动作业，大大提升了该系统在矿区应用的普适性。同时，伊敏露天矿还联合国内首台 20 立远程遥控电铲构建完成国内首个露天煤矿无人化工作面，截至目前，无人驾驶自卸卡车及电动宽体卡车效率分别达到人工效率的 80%、87%以上，作业成功率达到 98.6%，各项指标处于国内领先水平。无人驾驶技术获得国家实用新型专利《一种矿用自卸卡车的数据采集装置》，并将该专利有偿授权给特雷克斯北方采矿机械有限公司使用，实现了技术对外转化的零突破。同时，完成 2 项企业标准发布及 1 项行标、5 项团标立项工作。

三、智能化建设成效

在减人提效方面：伊敏露天矿已实现 8 台无人驾驶卡车改造，复杂工况作业效率达到人工效率的 80%以上，已实现从技术研发向生产力的转化。将减少驾驶人员 36 名，直接降低人工成本 1044 万元/年。伊敏露天矿自主完成无人值守加

压泵站系统及完整的水资源集中监控中心，减少疏干加压泵站值守岗位 7 人。

在安全效益方面：完成了全部自营卡车增设主动式防碰撞系统。满足车体正前方 50 米范围内其他矿用设备的准确识别及正前方 40 米范围内的其他矿用卡车、工程机械设备、人员等准确识别。同时实现车辆 360 度实时环视影像及司机防疲劳驾驶功能，有效缩小车辆盲区影响，提高安全驾驶水平。

在绿色环保方面：伊敏露天矿通过智能充换一体纯电重卡核计年度减少二氧化碳排放 2217 吨，按电费 0.4 元/度，油费 6.7 元/升计算，1 纯电动宽体重卡剥离成本较传统燃油宽体卡车剥离能耗成本节约约 462.8 万元。

案例 47 北露天煤矿卡车无人驾驶融合调度系统

主要完成单位：国家电投集团内蒙古能源有限公司

一、主要建设内容

北露天煤矿始建于 1985 年，核定产能 1000 万吨，是内蒙古电投能源股份有限公司在霍林河地区总体设计的三个千万吨级露天煤矿之一，露天可采储量为 4.4 亿吨。剥离采用单斗—汽车间断工艺，采煤采用单斗—汽车—胶带运输半连续工艺，采煤、剥离生产机械化程度达 100%。北露天煤矿生产单位包括自营以及 2 个外委单位，从总体上看，具有设备类型多、生产单位多、生产管理复杂等特点。因此，建设一套卡车融合调度指挥系统，对生产单位、生产设备进行集中管控，并将其生产数据、运营数据进行数字化、可视化，避免信息孤岛、降低信息流转复杂度，提高精细化管理水平具有重要意义。另外，在露天矿山智能化升级改造的大趋势之下，在矿区开展矿用卡车无人化改造，并进行工业化运行作业，实现“科技强安”“少人则安”和“无人则安”的管理目标，从本质上减少因人为因素造成的安全事故发生，也是北露天煤矿探索发展的一个重要方向。

因此，针对现有生产运营特点以及未来发展方向，北露天煤矿与 2021 年 11 月开展了基于无人驾驶技术的卡车融合调度指挥系统（图 1）的建设，实现了采运排作业的实时远程自动化生产指挥和生产管理、露天矿生产数据实时在线管理和无人驾驶矿卡在该平台系统下的统一调度。建设内容包含车辆智能调度、地图数据管理、集成运行监视、数据统计分析、基础数据管理、路径规划、路权管理、报警管理、无人驾驶矿卡管理等功能模块组成，可以对矿山设备进行调度管理、生产监控以及具有数据存储、数据整合、数据分析能力。

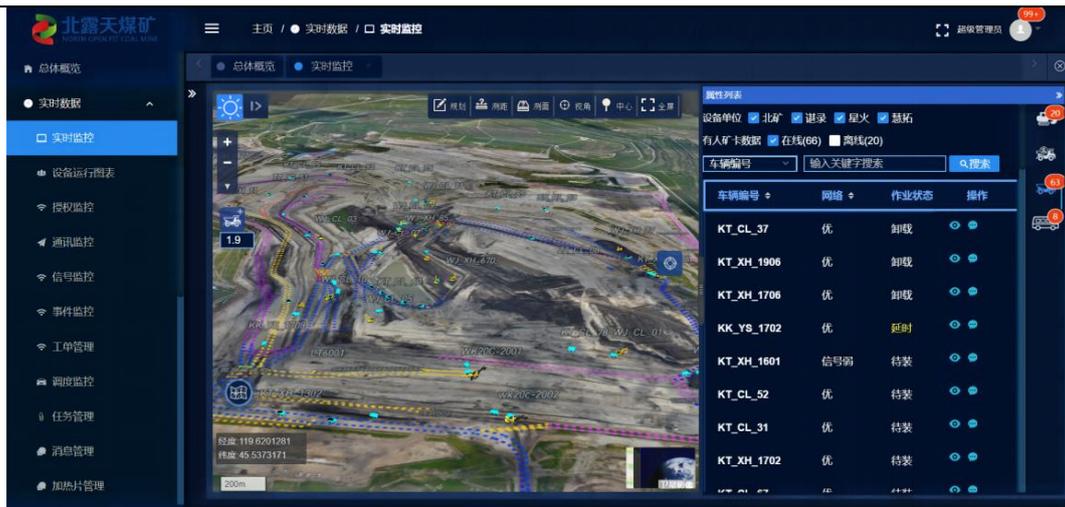


图1 融合调度指挥系统

1.有人驾驶车载终端系统

包含运输设备、采掘设备、工程设备的车载终端系统，通过在设备上安装智能车载终端、人机交互设备等，在基于无人驾驶的调度平台下实现对设备、装卸载点及生产现场的实时监控和调度优化管理。

2.矿用卡车无人驾驶车载系统

由车载无人驾驶控制终端、线控系统、感知系统、定位系统等组成；在基于无人矿卡的调度平台统一调度管理下，无人驾驶矿卡与电铲实现协同自动装车，同时可与各类有人驾驶辅助作业车辆实现协同混编作业。

二、技术特点及先进性

1.高效智能的卡车融合调度指挥系统

北露天煤矿生成调度指挥系统融合设备智能调度、无人矿卡运输、地图管理更新、设备实时监测、数据统计分析等多项关键技术，建设的系统能实现矿山所有有人/无人设备之间安全运行、统一调度达到协同高效工作的目的。

2.与北露天煤矿智能煤矿建设紧密融合

本项目既有矿用卡车无人驾驶系统的实施，又包括有人驾驶车载系统的实施、基于无人矿卡的调度平台系统建设实施，这些系统的建立，以基于无人矿卡的调度平台为核心，实现运输设备、采掘设备、工程设备的综合调度与管理，打通生产、维修、安全各个系统之间的数据交互和协同管理运行，形成从生产经营指标计划，矿山运行计划、组织和调度，作业数据采集、统计和智能分析，优化生产

经营指标，改进生产技术和流程的智能化作业系统，实现与霍林河北露天矿智能煤矿建设的紧密融合。

3.有人/无人混编高效作业

本项目将有人驾驶车辆与无人驾驶车辆统一纳入到一个平台下进行调度管理，其无人驾驶与有人驾驶车辆数据可以互联互通，通过多源数据融合感知、交通控制、路权管控、全方位安全防护、智能调度等技术，实现了无人矿卡与有人矿卡的混合编组安全、高效作业。

4.应用先进技术的性能、水平及国产化程度

本项目是国内首个将有人设备与无人设备进行统一管理调度、安全运行的系统性项目，且经过 5 个月的工业运行，系统运行稳定、可靠，相关应用技术完全自主可控，实现 100%国产化。

三、智能化建设成效

1.提高工作效率：本项目通过智能调度，减小运距、油耗、轮胎损耗以及待装、待卸时间等实现多全矿两百多台设备装、运、卸过程的科学管理，提高人员和设备工作效率以及降低生产运营成本，达到降本增效目的。

2.强化安全监管：通过对设备状态的实时监测，对超速、碰撞、越界等违规操作进行告警，实现实时设备状态跟踪、在线监控、集中管理，达到对设备生产运行的安全管理。

3.数字化经营指标：通过对各设备生产数据、运行数据的自动采集与统计分析，生成各类设备的生产报表，包括运距、提升高度、产量报表等以及设备实动率、出动率、运行效率等报表，对各项经营指标进行数字化，供管理者决策分析，进而实现精细化管理目的。

4.推动智能化、无人化进程：本项目实现了有人/无人车辆的统一调度以及有人/无人的混编运行作业，为实现规模化无人运输提供了重要的实施基础以及运营经验，加快了全矿智能化、无人化的进程。

案例 48 扎哈淖尔煤矿输煤智慧消防系统

主要完成单位：扎鲁特旗扎哈淖尔煤业有限公司

一、主要建设内容

本项目主要是在 133 胶带、233 胶带、106 胶带、133 胶带驱动站、233 胶带驱动站、106 胶带驱动站；根据现场实际情况安装粉尘防爆智能多梯级火灾探测系统、火灾自动报警系统、分布式光纤测温系统、超细干粉灭火系统、半固定式水喷雾灭火系统，并在矿内消防站控制室建立一套智慧消防远程管理系统。

通过智慧消防远程管理系统运用云计算、大数据智能分析、数据研判，利用国际先进的无线网络传输、通信协议相互兼容解决信息壁垒等先进的专利技术与传统消防系统结合，实时采集消防控制系统设备及各消防系统预警信息、报警信息、故障信息、报警位置的平面地理信息等数据；并通过融合本项目采用的粉尘防爆智能多梯级火灾探测系统、分布式光纤测温系统，火灾自动报警系统切实做到实时有效的对封闭输煤廊道、胶带及驱动站初期火灾温度、烟雾、火焰进行动态感知、探测早期火灾，及时通知人员进行初期灭火、疏散。在初期火灾发生后，通过自动联动控制固定式耐低温超细干粉灭火装置做到及时控火，设置的半固定式水喷雾灭火系统系统可做到彻底扑灭火灾。使消防安全管理变得集中化、自动化、智能化、系统化、精细化、高效化、安全化、稳定化的智慧消防综合管理。

二、技术特点及先进性

（一）适用范围

本项目提供高寒地区输煤系统的智慧消防系统，主要针对纬度高、冬季时间长、温度长时间低于 0℃ 以下地区的包括输煤通廊、转运站等的输煤系统，实现了灾害侦查、报警、定位并通过多触发信号的融合启动灭火装置。

（二）技术特点

其特征就在于，包括智慧消防远程实时管理系统、火灾自动报警及联动控制主机和根据预先设计的防护分区一对一设置的半固定式水喷雾灭火系统。

（三）项目先进性及成熟度

1.本项目智慧消防系统，首次与温、烟、火焰多参数融合，且适用于零下-40℃的图像型智能火灾探测技术应用在极严寒地区的输煤系统火灾多梯级早期报警，在国内及国际现阶段消防系统中率先提出了温度/烟雾/火焰复合智能多梯级图像型探测的新理念，延伸了实现早期减灾防灾的概念，解决了传统火灾探测设备难以解决的火灾早期预警问题。

2.该系统实现了针对冬季极严寒地区的输煤廊道、输煤皮带温度异常和火灾早期烟雾进行探测的功能，通过直观可视化手段连续监测场景内的温度/烟雾/火焰变化，在传统消防系统减少损失的基础上，做到量变到质变的提前预警，防患于未“燃”。

3.该系统首次将定位定区、分阶段固定与半固定灭火系统综合技术设计应用于输煤系统各环节，实际解决了冬季供水及防冻问题，为极严寒地区输煤廊道及输煤皮带防火技术奠定坚实基础。

本项目经过与实施单位合作，取得《一种用于高寒地区输煤系统的智慧消防系统》实用新型知识产权，技术自主可控，在三年内通过验收及专家技术评估的方式，技术水平达到国内及国际领先水平。

三、智能化建设成效

从扎矿输煤系统智慧消防系统的试点安装使用情况来看，满足了扎矿输煤系统火灾防控“自动化”、灭火救援指挥“智能化”日常工作“系统化”、消防管理“精细化”的实际需求，实现了智慧探测、智慧防控、智慧灭火、智慧管理最大限度做到了“早预判、早发现、早除患、早扑救”，打造了一道坚固的“防火墙”，实现初期火灾位置视觉识别、自动报警，快速响应，解决输煤系统防火灭火的难点与痛点，大大降低消防火灾事故发生，提高生产效率。具备为成果规模化复制和推广提供生产制造、技术支撑和服务等能力，解决了行业发展中的关键共性问题，对推动煤炭工业科技进步有显著作用，具有较大的应用推广市场前景，随着本项目“智慧系统”的建设，利用先进的、技术领先的极早期预警、火灾探测设备及灭火设备，为消防灭火的快速反应、协同作战、指挥决策提供强有力的技术支撑效益。具有较大的经济效益和社会效益。

案例 49 五彩湾一号露天煤矿智慧物流平台

主要完成单位：新疆宜化矿业有限公司

一、主要建设内容

社会车辆在我矿原装煤工作流程为临时身份登记、预缴费、车辆装载、车辆排队、车辆过磅、数据抄录、数据汇总、报表会签、统计报表上报等步骤。本系统将根据业务需求更改为身份永久登记入库、预缴费、车辆装载、车辆排队、车辆过磅、数据直报至系统中心服务器、即时生成汇总统计报表，减少了人工抄报环节，提高了工作效率，减少了可出错环节。



图 1 智慧物流平台

采用无线数传系统可以对数据传输系统建设提供有效的投资保护，随着磅房位置的调整，无线数传系统可随之改变，不再做相应调整与投资。系统由车辆信息采集、车辆影像及号牌录入、车辆称重信息采集、数据处理、数据自动录入、报表统计、接口至生产信息管理系统、统计数据查询、结算等功能组成。达到降低计量人员需求、提高管理效率的目标。实现计划管理，企业装车从 1000 辆/日提至 2000 辆/日，可以做到 24 小时内装运完毕，真正实现产供销体系的自动化、智能化、效率化和人性化。

二、技术特点及先进性

1.精准控制次日计划。场内外队列看板功能，可实时了解场内外车辆数，为

下达次日计划提供了依据，销售部下达次日装车计划，并开放预约，计划配额自动推送，各客户都知道次日该派多少车。通过停车场道闸控制，非计划内的车辆无法进入停车场。

2.强制车辆分段来矿。日计划量分时间段开放预约，强制客户合理组织运力，分时间段派车，车辆在规定时间内来矿，避免了国道拥堵和停车场车辆积压。

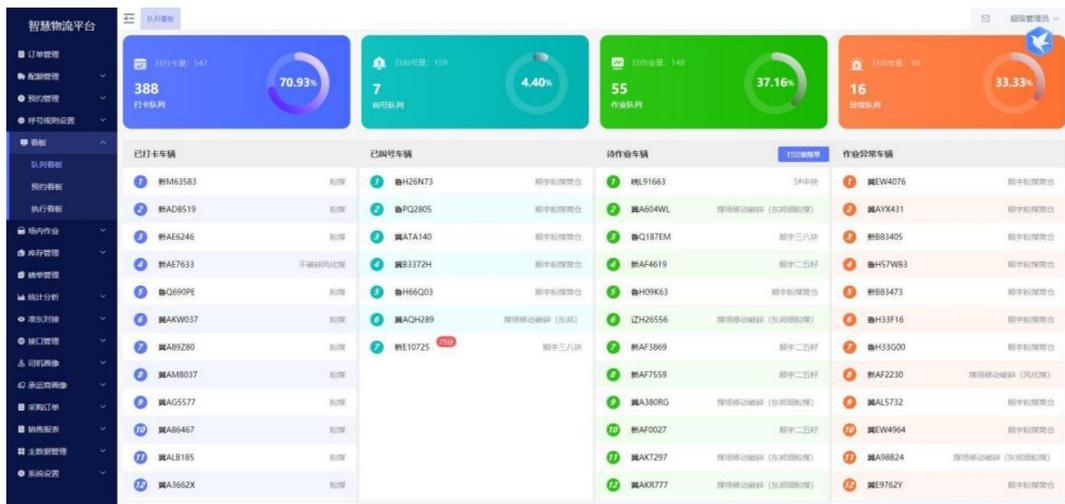


图 2 车辆管理示意图

3.预约序列自动放车。来矿车辆排队序列，以预约时间为准，车辆可从容规划各自行程，不必再急迫来矿，先来后到，井然有序。电脑自动按照序列叫号放车，没有人为因素干扰。

4.料口装车自动匹配。生产调度中心根据各料口作业效率，合理设置料口最大排队车数，平台根据车辆信息自动匹配装料口，各料口车辆有序进出，永远保持效率最大化。

5.重车卸货形成闭环。车辆卸货后，须由司机上传卸货磅单，由承运商审核通过后，该车才可预约下一次计划，业务形成闭环，避免一车多拉，流向失控。

6.人机交互便捷高效。智慧物流系统摒弃了车辆“办卡”、“制卡”、“激活”繁琐流程，业务信息与车辆和司机身份证绑定，双重验证，一刷到底，一张身份证即可完成全业务流程。

7.业务信息详实可靠。所有平台车辆、司机、客户和业务信息都采用本地部署和云端备份方式，双保险保证了信息的安全性。平台智能追踪，确保客户能实时查看各自业务信息，信息内容应有尽有，详实可靠，为客户统计结算工作提供

便利。

8.车辆组织更加优化。智慧物流系统未上线时，宜化矿业北门可容纳 1200 辆车的停车场，东南铝业可容纳 600 辆车的临时停车场，一度无法满足车辆停放需求，智慧物流平台上线后，客户派车不再扎堆，车辆组织效率更加优化。

9.滞留时间大幅缩短。通过平台自动放车功能，预约审核时间平均为 5.31 分钟，停车场等待时间平均不到 11 小时，其中，停车场等待时间小于 6 小时的车次占比 41.1%，半天以内的车次占比 65.2%，一天以内的车次占比 89.1%。

10.作业效率显著提升。通过料口自动匹配功能，场内作业时间平均为 3 小时。即接近九成的车辆，在 24 小时内可全部离矿，且比例还在逐步升高。车辆排队 3 天不能进场的情况，再也不会出现。

11.智能统计解放双手。通过磅单管理、库存管理功能，平台可自动统计当日作业量，作业车数，计划执行率等数据，展示明细，解放了统计人员双手。未来还会有报表自动生成功能，进一步提高统计数据的准确性和效率性。

12.降本增效多方共赢。通过演算，以石河子某下游用煤企业为例，单车月发运 17 趟时，吨成本节省 11 元/t，单车月发运 21 趟时，吨成本节省 20 元/t。目前，宜化矿业发运该客户的运费成本已下降 15-20 元/t，且装车效率更高。

13.司机来矿不再盲目。配额分配，计划装车及分段预约功能让车辆不再盲目来矿，现在，宜化矿业北门停车场长期只有 400-600 辆车停放，东南铝业临时停车场已无车辆停放，大大降低物流安全管控的难度和风险。

14.司机心态不再焦虑。以前司机不知道何时能装货，不知何地能休整。智慧物流平台上线后，通过司机端小程序实时滚动播报装车信息，告知司机前方排队车数和预估装车时间，让司机安心休息，不浪费时间浪费在等待上，平台运行时间越长，这个数字会越精准。同时，利用小程序推送消息，手机短信和电话通知的方式，三管齐下，确保司机按时进矿。

15.司机信息不再闭塞。以前矿方和司机之间隔着客户、承运商和信息部，矿方的各类通知无法有效、及时的传递到终端司机，智慧物流系统可将重要生产、销售信息通过平台直接发送到每一个司机手中，由司机端小程序自动推送，保证

了信息的时效性和准确性。

16.司机成本更加低廉。以前一辆车想要来矿装货，特别是长途车，车辆信息可能经过多手倒卖，司机多次缴费，才得以来矿。通过新系统，所有货运信息全部向司机、承运商和客户公开，司机不必再缴纳任何费用，即可在平台直接预约业务。

17.司机服务更加完善。司机小程序预留端口，未来可对接园区第三方产业，将货运信息、餐饮、住宿、维修、加油（气）等网点全部纳入平台，司机可在小程序上自由选择所需服务，自动实现了园区货运车辆的合理分流。

总得来说，智慧物流前期功能已经完成三项阶段性成果。一是生产销售安心，知道来多少、怎么区配；二是客户放心，知道能装运多少、成本下降；三是司机称心，知道何时装得上煤、适时休息。通过智慧物流平台的开发和应用，宜化矿物流安全更加受控，生产运行更加稳定，作业效率大幅提升，企业口碑全面向好。宜化矿业将全面贯彻落实自治区、州和管委会重点工作部署，加强组织领导，加大投入，持续改进，精心部署，严密实施，向着智慧矿山的目标奋勇前进。

三、智能化建设成效

本项目以宜化煤矿外运车辆进矿装煤流程和业务需求为出发点，围绕装车“高效、便捷、安全”三大关键环节，遵循智能化的管理架构，通过感知层各类硬件设备的统一接入，实现运煤车辆在原有系统中的进矿装煤时身份登记、预缴费、车辆装载、车辆排队、车辆过磅、数据抄录、数据汇总、报表会签、统计报表上报等工作流程临步骤实现电子化、网络化。借助物联网、移动互联、人工智能等新技术，构建全面的运行态势感知体系，实现对车辆和人员的全面管理，增强安全能力，减少安全风险造成的损失，实现过磅、装煤等管理无人化、智能化和数字化，释放劳动力。打造具有安全可靠、无人值守、实时预警能力的智慧物流系统。实现预付款、货场和市场数据管理、调度指挥、结算和报表管理信息化，配套集装箱车号识别系统集成以及新铁运联货票应用信息系统集成。实现对候场车、发派车、实装车 and 离场车等情况实时查询，同时能自动生成月累计、年累计等各类图表信息进行分析反馈，彻底解决人员对车辆调控、信息统计、结算与报

表管理的时效性差、出错率高、报送效率低等客观问题，降低人员工作强度，增强信息共享，保障车辆精准可控、信息高效统一、数据统计可靠无误。

推进此项目以来，部分工作岗位人工数量明显减少，在设备升级、优化劳动组织、减员增效、智能化煤矿建设方面实现了向装备智能化、组织简化型、施工高效率、生产高效益、劳动低强度、安全保障有力的转变，达到了“机械化换人、自动化减人、智能化少人”的目的，实现了安全高效、减人提效、降低劳动强度、改善矿区环境的目标。

案例 50 南露天煤矿 5G+无人驾驶系统

主要完成单位：新疆天池能源有限责任公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

天池能源与易控智驾、中国移动、中兴通讯多方联合，开展露天煤矿无人驾驶关键技术和铲、运、装协同无人化自主作业示范应用。项目现已投入无人驾驶矿卡 31 台、挖掘机 5 台、指挥车 5 台及配套辅助设备；全矿配套建设 5G 基站 35 座，并开展了矿用卡车无人驾驶系统的研发和现场重载测试，实现了无人矿卡的智能感知、自主决策与控制、智能调度等功能（图 1）。

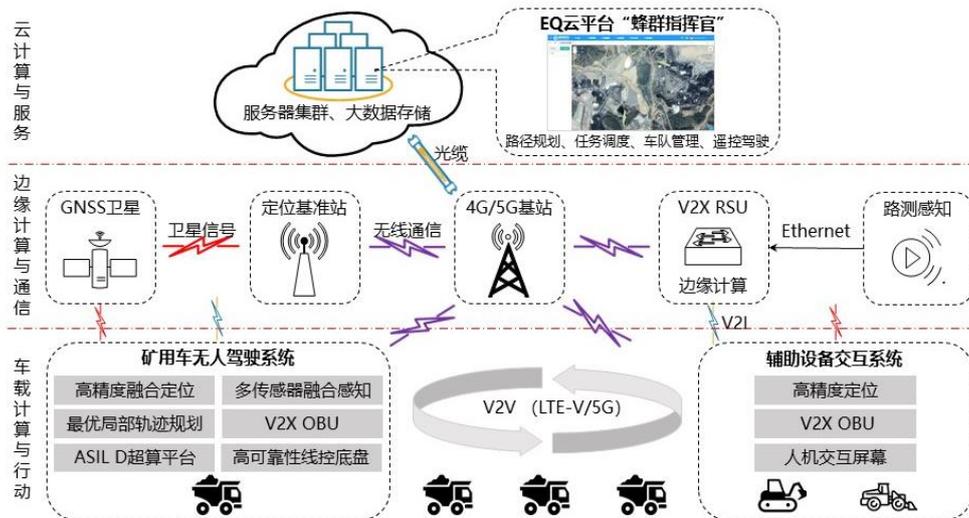


图 1 无人驾驶技术架构图

区别于其他无人驾驶局部模拟测试或非满载测试，本项目实现了与有人驾驶作业同工况、同等作业条件、真实参与矿山采剥工程，于 2021 年 3 月实现 100% 重载作业，2022 年实现无人驾驶四编组 24 小时常态化运行（无安全员），与传统有人驾驶车队共同承担矿山剥离运输作业，无人化生产效率已经达到人工生产效率的 90% 以上。截至 2022 年 10 月底，累计运输土石方量 427.3 万 m³，累计运营里程 77.9 万 km，单一矿山无人驾驶规模、作业量全国领先，运营效果好。



图 2 无人驾驶运营数据看板



图 3 无人驾驶车辆编组作业图

（二）主要内容

本项目利用基于 5G、工业互联网技术的超高速率、高带宽、低时延等关键技术特点，构建了 5G 网络通信系统、调度指挥平台、远程监控操纵系统等无人驾驶三大模块；开展无人驾驶车辆的精确定位、安全监测、自主感知、主动避障、故障检测等关键技术的研发，在天池能源公司下属露天煤矿进行示范应用与推广。

（三）工作经验

“用户+服务商+5G 运营商”的合作模式，使无人驾驶系统与车辆具有最佳的适配性，具备了智能控制、车辆信息实时上报等功能，实现了高效运营和精细化管理，走在了行业前列。矿区无人驾驶的大规模商用，将为矿区运输生产工艺本身带来颠覆性变革，并将带动相关生产领域转型升级。

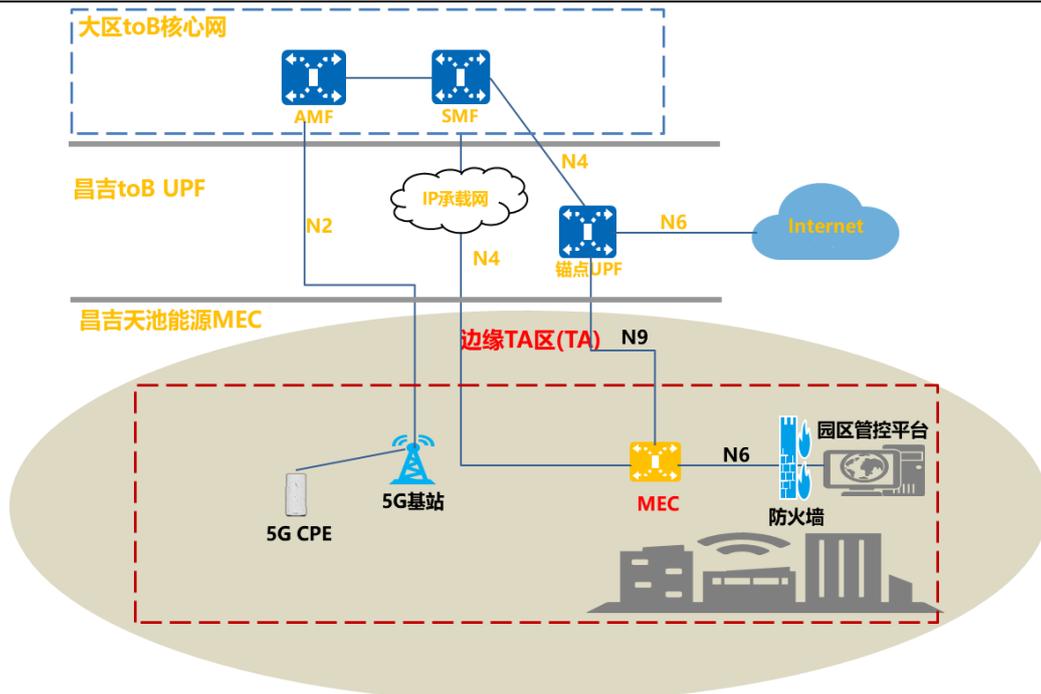


图 4 网络通信系统架构图

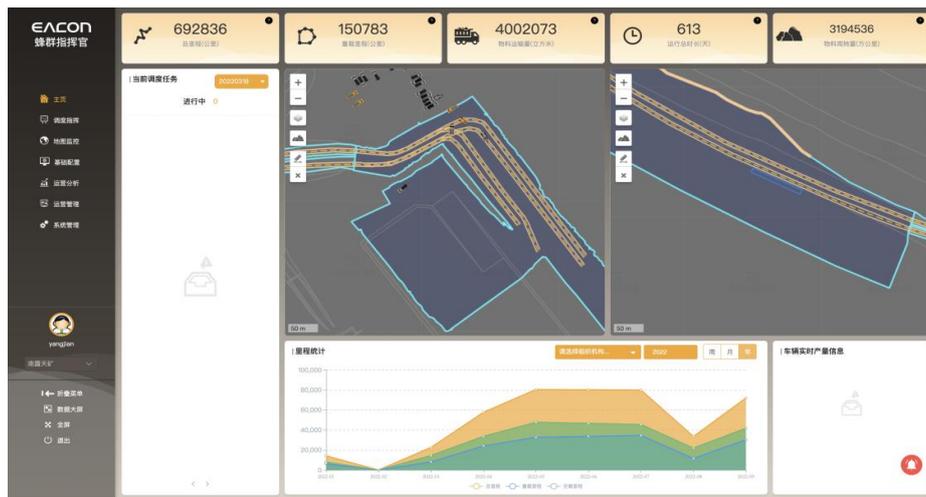


图 5 调度指挥平台操作界面

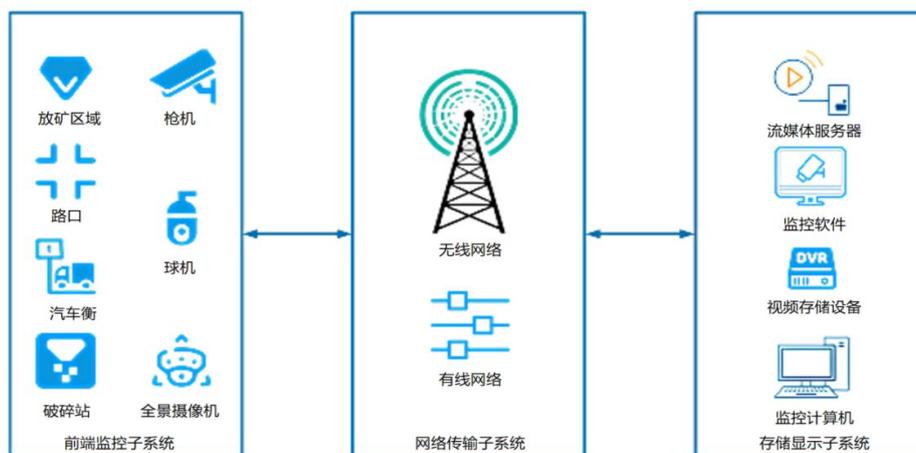


图 6 视频监控系统架构



图 7 视频监控画面



图 8 5G 车辆远程操纵系统使用场景及界面

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1. 采用多项先进技术手段提升 5G 应用效果

面向露天开采行业网络特性需求，采用针对多场景、多波形的新型载波技术、极化编码调制方案、Massive-MIMO 系统、灵活双工和全双工与双 160M 共模设备、智能基站节能技术等先进网络技术，建成满足露天煤矿典型应用场景的高质量网络。

2. 基于模型可解释性的机器状态识别技术

利用监督式学习模型，综合标签化图像样本和生成数据，引入预测残差驱动

模型提高输入信号信噪比，同时引入 bag-of-feature 技术突出局部特征并降低系统和环境的全局性干扰。从模型解释性理论出发，利用预测精度、描述精度和相关性、类别区分能力等指标形成算法有效性和可解释评价体系，保证模型的泛化推广能力和预测结果的解释能力。

3.基于深度物体检测的人体检测技术

改进了全卷积两阶段物体检测方法的精度，在 R-FCN 的检测框架基础上，通过使用可分离的大卷积，使全卷积物体检测具有了更大的有效感受野和全局的上下文信息。进一步使用 Light-Head R-CNN 算法，同时提高检测的效率和准确率。

4.针对大规模生产环境的“云+边”协同行业云平台

采用边缘计算与云计算相结合的技术路线，通过建立“云+边”的新型系统结构，边、云协同，同时提高算力和推理实时性，支持模型快速迭代及评估验证。

（二）适用范围

适用于露天煤矿生产运输环节，采用行业通用协议。

（三）技术先进性及成熟度

本项目将人工智能、工业物联网、云计算、大数据、5G 等技术与无人驾驶深度融合，以工业互联网架构开展智能煤矿总体设计，形成全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的无人驾驶系统，确保解决方案的先进性和成熟性。项目方案合理，可灵活裁剪与配置，复制性强，部署成本适中，效率提升显著，适用范围广，具备突出的推广应用价值，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。

（四）技术装备情况

性能稳定，已达到行业领先水平，国产化程度达到 100%。

三、智能化建设成效

露天煤矿碳排放主要产生于生产运输环节，通过应用以无人驾驶技术为主的智能化技术，降低了生产运距、行驶油耗，使露天煤矿碳排放水平降低了 10%左右；同时，有效避免因司机水平差异造成的油耗损失和设备损耗，核心的智能调

度模块预计提升整体生产效率 10~30%，按照 1000mt/a 生产规模计算，每年可多开采 100~300 万 t 原煤，年经济效益预计大于 3 亿元。

以无人驾驶为代表的一系列人工智能技术和装备，提升了企业的生产效率、降低生产成本，使产业工人远离危险恶劣的工作环境，从根本上加强职业健康安全防护，提高安全感和幸福感。项目促进了区域传统能源产业的发展，保障了新疆准东地区优质煤炭资源的稳定供应，推动了新疆地区优势资源转换战略的实施，项目技术先进、应用效果显著、可复制推广性强，具有较强的示范作用。

第五章 智能运输

案例 51 上湾煤矿辅助运输绿电+无人驾驶系统

主要完成单位：国能神东煤炭集团有限责任公司

一、主要建设内容

1.作为国能神东煤炭集团新能源电动车试验基地，上湾煤矿积极响应国家创新、绿色发展的要求，力求实现煤炭安全绿色、高效智能生产的目标和“双碳”目标从 2017 年 12 月开始联合制造企业共同开发矿用电动车。全矿在用电动车 72 辆，占全部车辆的 56%，预计 10 月底更换 24 台新能源电动指挥车，2022 年底，更换新能源材料车和工程车 65 台，共计 161 台，并 100%实现全矿新能源电动车。从使用电动车起，相比于柴油车全年可节约费用约 500 万元。

2.根据矿井道路条件和井下作业要求,辅助运输车辆无人驾驶系统实现从井上到井下的自动行驶、错车通行、全局路径规划、动态路径规划、硐室停车、岔路口通行、协同装/卸载、站台精准停靠等功能。除车辆自身可实现无人驾驶运行外,在井工矿调度和监控中心建设基于无人驾驶系统技术的辅助运输车辆智能调度和管理系统（属于无人驾驶系统技术研究的一部分），根据井下辅助运输作业计划，智能调度和管理无人驾驶车辆，确保车辆安全、稳定、合理行驶。

3.研发一套高可靠、高带宽和低时延性能的 5G 移动通信系统，基于 5G 网络与 UWB 井下精确定位等技术，实现上湾矿 5G+UWB 信号全覆盖，为井下无人驾驶、井下高清视频传输、综采及掘进数字孪生工作面、井下工业控制、机器人智能巡检、基于 5G 的 AR 增强培训及未来井下基于 5G 的智能应用打下坚实的技术基础。

4.新能源电动车无源充电系统利用现有车库顶棚建设光伏发电系统，停车位上增加集装箱储能系统满足充电站全功率运行，且平滑整个光储充系统保证系统安全可靠运行，增加微网能量管理系统（EMS）实现对微电网的光伏发电单元、储能系统和负荷之间的管理（包括对光伏单元的功率预测，功率波动平抑；实现储能单元削峰填谷，应急电源控制；负荷预测），对微电网中能量按最优的原则

进行分配，实现微电网系统的经济优化运行。

二、技术特点及先进性

1. 新能源电动车应用，整车采用纯电驱动，运行成本低。电动车运行吨公里能耗仅 80Wh，运行成本仅为同类防爆柴油车的 13%，满载续航里程小于 80km。整车根据云下实际工况，采用定向设计与用底盘，内部空间大；优化设计悬架阻尼参数；乘坐舒适性参照商用车规范开发，人机工程协调，整车驾乘舒适性高。

有效解决云下传统柴油车“高污染、高油耗、高噪音、低寿命”问题，为职工提供良好的作业环境，有效杜绝职业病的发生，对于新、改扩建矿云可减少通风设备的投入。相比柴油车，无需加水加柴油，无需清洗格栅，自动挡操作简单、动力强劲，零部件可靠耐用，维护方便，无需担心尾气达标检测，在局部通风差、氧气浓度低的巷道具有更好的环境适应性。

2. 辅助运输车辆无人驾驶系统技术实现辅助运输车辆无人驾驶状态从井上到井下的自动行驶、错车通行、全局路径规划、动态路径规划、硐室停车、岔路口通行、协同装/卸载、站台精准停靠。先进技术包括：高精度井工矿无人驾驶车辆控制技术、多源异构感知融合技术、主从无人驾驶控制器冗余设计技术、井工矿多车协同决策规划技术、车路协同感知决策技术、井工矿语义高精地图建图技术。

3. 用 5G 无线通信系统，核心网提供 5G 网络接入统一管理鉴权、移动性管理，满足对井下多系统的网络集中接入，UPF 下沉上湾煤矿，满足矿区 5G 转发需求。5G 传输环网选用 IPRAN 组网方式建设，采用分层组网（包括核心/汇聚设备间、汇聚/接入设备间混合组网）方式，设备支持网络切片、SR、EVPN 等网络新特性。5G 与 UWB 一体化定位系统的融合，以 5G 通信网络为基础，充分利用 5G 异构定位架构，融合 UWB 一体化基站定位技术，为同时解决定位精度和定位覆盖两大核心问题，实现一体化的通信和定位覆盖。

4. 建设光储充电站，充电桩负荷最大限度使用光伏发电及储能放电，储能系统进行削峰填谷且平滑整个光储充系统。并网型储能变流器，变流器的交流侧并联接入 380V 的交流母线上，每台变流器直流侧并联接入 1 簇磷酸铁锂电池，

可以实现能量的双向流动，即电池的充放电；光伏逆变器，直流侧连接光伏阵列，交流侧并联接入 380V 交流母线，为整个系统提供能源输入；现有充电桩的交流侧并入交流母线，可由光伏、储能或电网供电；EMS 系统，根据上级调度指令完成对光储充系统的设备信息监测，电池的充放电控制，SOC 信息监测等功能。

三、智能化建设成效

1. 新能源电动车应用截止目前，上湾煤矿皮卡指挥车、运人车、材料车都已实现电动化改造，下一步将对工程车和特种车辆进行电动化替换。为煤矿井下实现绿色、环保的辅助运输新模式奠定基础。

2. 辅助运输车辆无人驾驶系统目前完成井口至 12403 综采工作面 13km 数据采集、去噪、建图、测试运行；完成绿色智能无人运输 19 人车、5 人车从井口到 12403 综采面长距离、多场景测试，突破了无人驾驶车辆在井下精确导航定位、井下复杂环境感知、井下远程监控和应急接管、井下车路协同等关键技术瓶颈。

3. 矿用 5G 无线通信系统已完成上湾煤矿全矿井 5G 移动通信系统设备部署，包括 SA 核心网、业务交换机、基站控制器、5G 基站，UWB 分站正在安装中。

四、油液在线监测系统可实时监测油质，和公司油液化验部门对比精度一致，同时该系统发现油质问题能够第一时间发现识别存在问题。

4. 光储充电站设计功率为 400KW，每天正常可发电近 1700 度，每年发电近 56.95 万度电，每年可节约 113.9 万多元的电费，降低了煤炭的消耗。

案例 52 唐口煤矿立井提升智能化控制系统

主要完成单位：山东能源鲁西矿业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井基本情况

唐口煤业公司隶属于山东能源集团鲁西矿业公司，位于济宁市任城区南张街道，井田面积 72 平方千米。矿井 2006 年 1 月份建成投产，原核定年生产能力 500 万吨，受防冲及千米以深限采等政策影响，重新核定年生产能力 390 万吨。矿井为立井开拓方式，北部工业广场布置主、副、风三个井筒，南部工业广场布置副、回风两个井筒。

（二）提升系统基本情况

立井提升系统建成以副井提升机房为集控中心，增设了主井提升机远程操作台、显示终端、声光报警装置等硬件设备，具备了在技术保障下的远程开车及故障紧急停车等功能，实现了副井司机远程集控及主井无人值守一体化运行，全面取消主井岗位司机。副井集控室增设监控屏，通过视频监控网络对提升机、变压器、操作台、平衡尾绳、井口井底等重点部位进行视频监控，实时掌握现场运行状况。

2020 年在主、副井提升机配备了设备健康状态管理系统，在提升机主电机、轴承等关键部位安装温度、振动传感器，实时采集分析温度、振动数据，实现对设备实时在线监测、故障诊断。

2021 年在主井南、北提升机房各安装一套轨道式巡检与定点监测相结合的巡检系统，实现设备运转状况实时监控。

2021 年建成了井筒智能监测系统，实现了对井筒罐道梁、井筒井壁、井筒装备、钢丝绳张力、箕斗载重实时监测、数据采集、智能巡检等功能。

两部主井提升机无人自动化安全高效运行，降低了劳动强度，每天减少人工巡检次数 22 次，实现减员 12 人。

（三）矿井智能提升系统建设情况

1. 远程视频监控

在副井集控室增设监视屏，对提升机、变压器、操作台、平衡尾绳、井口井底等重点部位进行视频监控，实时掌握现场运行状况。

2. 定点智能巡检

采用巡检机器人代替人工巡检，对高低压室、传动室、提升机滚筒、电机、液压站、变压器、冷却风机等进行视频及红外双重监控，温度异常实时报警。

主井提升机房安装了一套轨道式巡检与定点监测相结合的巡检机器人，对高低压柜、液压站、冷却风机等进行视频及红外双重监控，发现异常实时报警。

巡检系统主要包括以下部分：

（1）巡检机器人。采用吊挂式轨道行走，导轨覆盖至提升机房大厅、高低压室、操作室等。可实现垂直升降，使机器人本体携带的传感器能够覆盖设备及柜体所有检测点。采用滑触线供电方式，电压为 DC24V，检测电量低可自主充电，无法充电或者断电时能发出报警。

（2）图像采集。系统搭载一体化高性能云台，集成高清摄像技术与热成像技术，可实现低照度下清晰成像。可以在没有灯光的夜间清晰监控，画面清晰度至少 1080P。利用红外热成像仪采集设备温度，温度数据实时上传至平台，并能对异常数据进行告警处理，实现对设备温度的监测功能。

（3）环境检测。巡检机器人搭载温湿度一体传感器，实时检测现场环境信息。烟雾报警器对环境中的烟雾进行监测，监测到烟雾数据异常时自动报警。

（4）管理平台软件系统。利用软件平台实现对巡检机器人的远程控制，实现远程在线监测与现场巡检、现场处置相结合。进行智能巡检、告警管理、数据提取和数据统计查询。

3. 井筒智能监测系统

增加井筒巡检系统，采用胶轮自主发电、井筒无线传输等技术，实现对滚轮罐耳、井筒罐道、罐道梁等井筒装备的视频检测，同时实现钢丝绳张力及箕斗载重的实时在线监测功能。将巡检仪、电池箱、采集箱、发电机、投光灯等设备布

置在箕斗顶部，对井筒罐道梁、井筒井壁、井筒装备及钢丝绳张力实时监测、数据采集分析，实现智能巡检。

井筒智能监测系统主要功能如下：

（1）系统具有视频监控功能，能够监测记录井筒罐道、罐道梁以及滚轮罐耳转动运行情况等。

（2）系统具有钢丝绳张力及箕斗载重在线监测功能，可实现对钢丝绳张力及箕斗载重的实时在线监测，监测系统具有实时显示、数据异常报警及存储功能，具有历史数据查询、分析功能。

（3）巡检仪和井口地面基站进行无线通信，井口地面基站再通过有线方式将井下摄像机图像传回监控中心进行存储和智能分析识别。基站之间无中继最小无线传输距离大于 1km，图像延时小于 500 毫秒。

（4）系统具有报警及分析功能，可定期或每次巡检后出具分析报告，针对故障点出具处置措施。

4. 设备状态监测

在提升机房及提升机主电机、轴承等关键部位安装 58 组监测传感器，实现对转速、振动、温度、湿度、烟雾、噪声等数据的采集分析、超限预警等功能，为设备故障诊断、预防性检修提供参考数据及运行安全保障。

设备健康管理系统运用智能物联网传感器，对提升机主电机、轴承等主要设备进行温度、振动等参数监测，实时采集设备运行数据，通过数据分析软件，结合大数据，利用智能机器学习算法，对设备的运行数据建立故障模型，提前预测设备故障，提前做出维护，优化设备运行状态，有效避免设备的突然故障，有效延长设备服务寿命。同时，设备健康管理系统数据平台可集成多种传感器数据，在云端做综合分析，在上位机及移动终端即可实现故障报警，设备故障率由 0.5% 降低至 0.2%。

二、技术特点及先进性

以“少人则安、无人则安”为目标，以本部副井提升机房为集控中心，实现主井两部提升机无人值守自动化运行、南部副井提升机远程控制，如图 1、图 2

所示。通过设备健康管理与故障诊断平台，对提升、洗选等主要系统设备动态振动、温度等数据进行分析，得到传动设备运行状态的各种参数和图谱，实现对传动设备的轴承、齿轮、转轴等关键部件的故障分析与诊断，超前诊断设备故障原因与严重程度，保证机电主要系统设备运行安全。安设主提升系统车房智能巡检机器人，利用可见光摄像机和红外热成像仪对提升机轴承、电机、液压站等关键部位温度进行监测监控与智能分析诊断，自主完成巡检任务，如图 3 所示。安设主提升系统井筒巡检机器人，采用胶轮自主发电、井筒无线传输等技术，实现对井筒装备的视频检测、钢丝绳张力及箕斗载重的实时在线监测和分析预警。建成安全、高效、智能的立井主提升系统，如图 4 所示。



图 1 副井集控室远程监控



图 2 主井提升机房无人值守

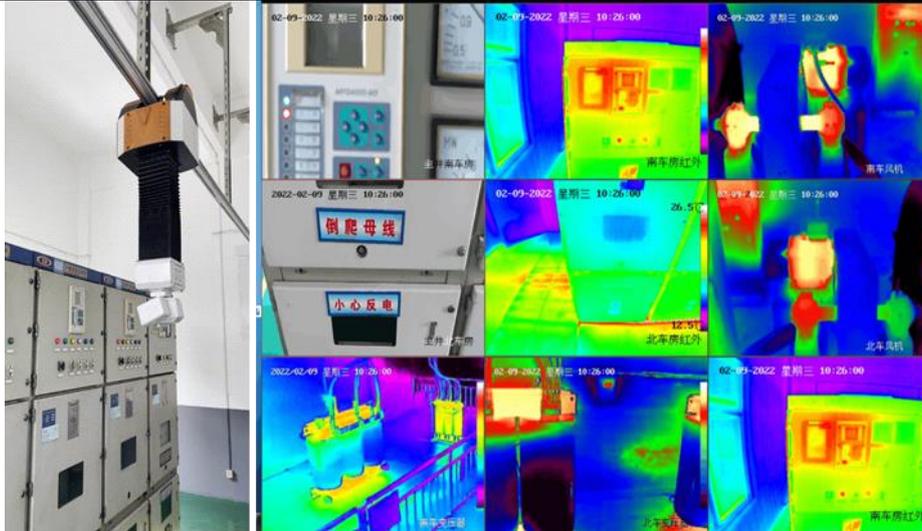


图3 提升机房机器人

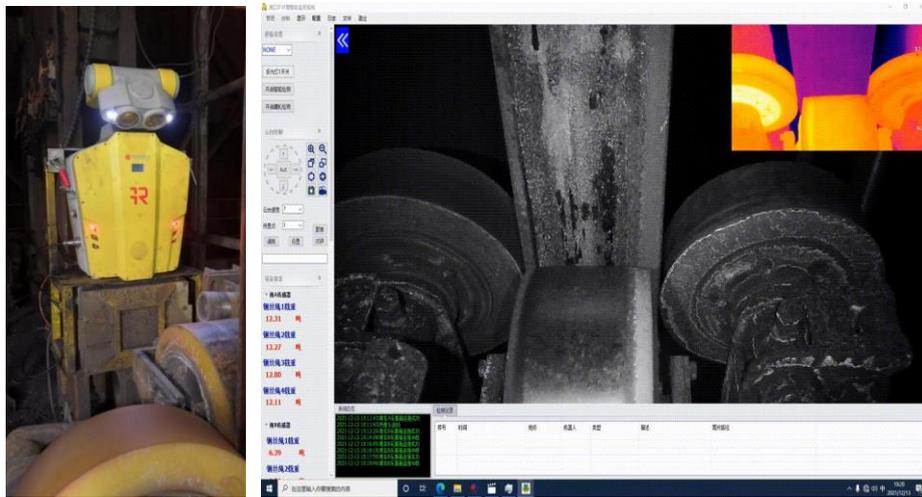


图4 井筒巡检机器人

三、智能化建设成效

1.智能化提升系统的建成实现副井司机远程集控及主井无人值守一体化运行，改变了提升系统每部提升机配备8名司机的工作模式，实现12名集控司机对主副井提升系统的集中控制，实现减员12人。

2.通过视频监控、环境监测系统、定点智能巡检系统等实现了对提升机重点部位的温度监控、数据记录和实时巡检，取消了提升机司机人工巡检、手动测温模式，改造前集控司机除检修时间外，每天需巡检22次，每次巡检时长约30分钟，改造完成后，集控司机可以直接在集控室完成对主井提升机的巡检工作，取消了每小时巡检工作，极大地降低了司机的劳动强度，提高了工作效率。

3.通过井筒智能监测系统、设备状态检测系统、电机测温系统等实现了对主副井关键设备运行状态的全面监测分析，超前诊断设备故障，指导现场维护工作，

优化设备运行状态，保证提升安全，避免过度维护，降低维修工劳动强度。

4.通过实时集控改造、视频监控、智能巡检及设备状态监测等措施，最终实现主井无人值守，实现减员 12 人，每天减少人工巡检次数 22 次。

案例 53 赵楼煤矿辅助运输精准调度系统

主要完成单位：山东能源兖矿能源集团股份有限公司

一、主要建设内容

（一）基本情况

2021 年赵楼煤矿辅助运输精准调度系统完成建设，实现对南部 2#辅运大巷及七采区辅运巷 6km 运输区域内 9 部单轨吊、14 台胶轮车、8 台电机车的机车精准调度管理，以及井下物料车辆智能物流管理，如图 1 所示。

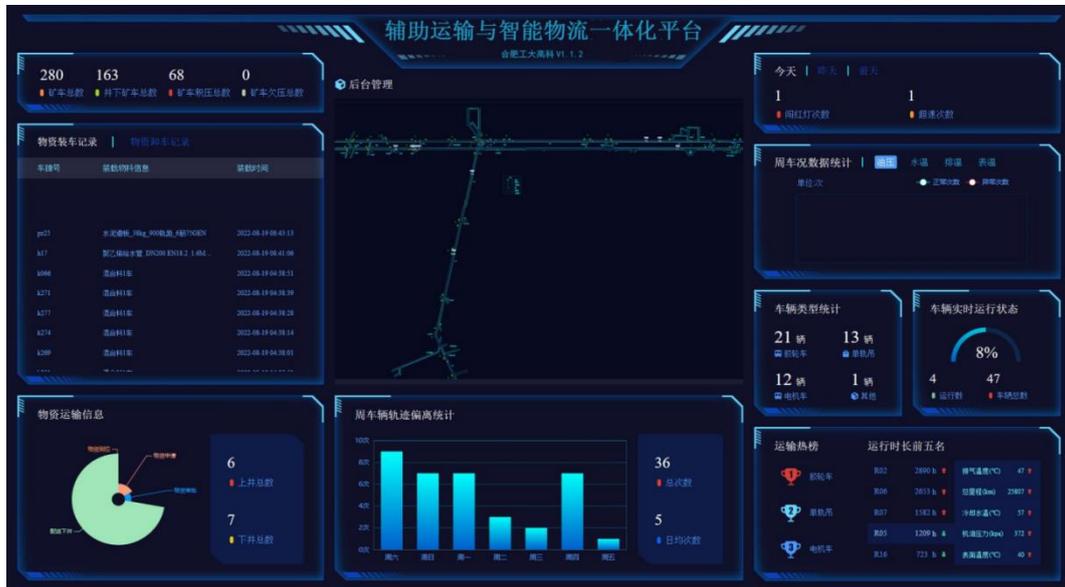


图 1 辅助运输精准调度系统主页

系统共安装调度信号基站 36 组（含信号灯 47 盏）、精准定位基站 21 组、车辆定位卡 200 个、车载智能终端 17 台、手持智能终端 100 部、集控窄轨道岔 31 组、单轨吊道岔 15 组，建成一套集红绿灯信号闭锁、车辆精准定位、物料自动跟踪管理、无线通讯、道岔自动控制等管控功能的智能辅助运输精准调度系统，如图 2 所示。



图 2 辅助运输精准调度系统主页

该系统利用车载智能终端实时显示车辆运行位置（图 3、图 4），具备语音通讯、行车地图、车载人员绑定及车况数据上传等功能。利用矿井万兆环网、无线 WiFi，通过电脑和手机 APP，实现物料计划、审批、交接手续网上办理，能够快速查询物料位置、车辆编号、运送地点等信息数据。



图 3 车载智能终端



图4 行车地图主页

（二）具体内容

1.信号集控、闭锁功能。井下区间闭锁信号控制系统按双向单车道设计，单一闭锁区间内实现车辆按信号灯指示前行或进入会车点等待。井下行车信号根据车辆位置信息实现自动控制，具有区间联锁、敌对进路联锁，避免出现车辆侧撞、顶头、追尾等安全事故。

2.车辆调度功能。针对井下运输现场实际，结合车辆位置、车辆类型、优先等级、区间闭塞、错车避让等多因素，实现自主信号智能车辆调度。

3.车辆定位功能及实时测速功能。

（1）实现机车 UWB 精准定位，实时测量车辆速度，并在监控屏及车载终端上动态显示。

（2）通过控制系统在调度监控屏上的显示界面，实时显示车辆的精准位置，运行巷道实时位置数据；动态展示井下车辆的数量、分布情况和运行轨迹。

（3）实现车辆与乘坐人员自动绑定，利用精确定位车载读卡器，将乘车人员与车辆同步信息上传，并在调度系统上实时动态显示及记录，如图 5 所示。

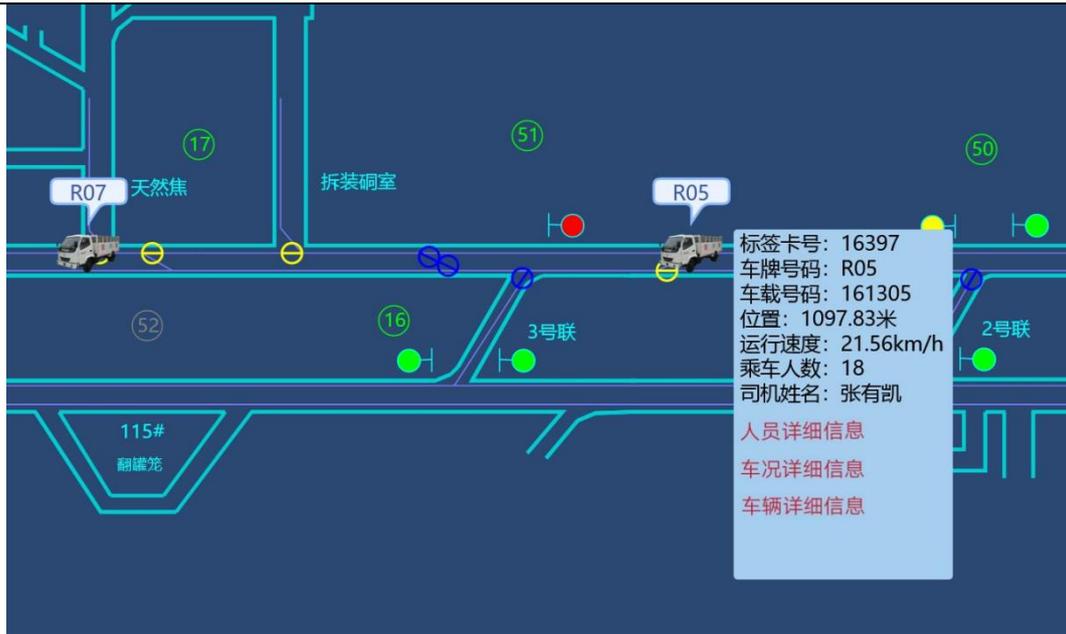


图 5 车载信息显示画面

4.重演功能。根据记录的运行过程数据，在管理计算机上重现指定时间内实际运输过程，并在监控图上进行轨迹回放，为分析事故原因、改进调度策略提供依据。

5.报警功能。系统具有故障及异常情况报警功能，具备闯红灯报警、超速报警、路径偏离报警、疲劳驾驶报警、道岔不到位报警等功能，并在监控界面有显著的故障提醒，实时推送车辆终端。

6.联网功能。能方便与矿上其它计算机联网，提供网页数据接口，融入矿综合信息化软件平台，实现资源共享。

7.故障诊断功能。实时反映系统内检测执行设备的工作状态，自动进行故障诊断。

8.车载终端软件功能。

(1) 通讯联系，如图 6 所示。

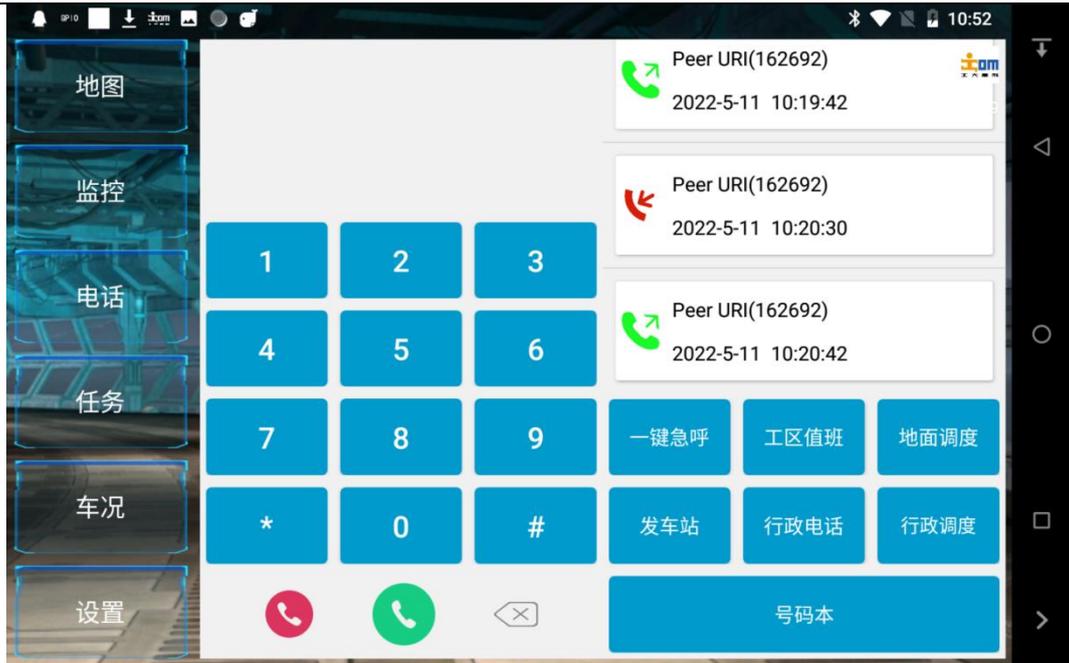


图 7 车载 SIP 通讯

(2) 安全预警。实现危险驾驶及违章报警功能，如超速、闯红灯、路径偏离、疲劳驾驶预警等。

(3) 地图显示功能。车载终端可显示井下地图全貌、本车当前位置、周围车辆机位置信息、实时速度、周围红绿灯等。

(4) 车况数据采集和上传功能。实时采集车辆机油压力、排温、表温、水温、瓦斯等数据，并上传系统留存。

9.道岔控制功能。司控道岔能够实现计算机远程控制、现场手控、遥控器控制。

10.物料可视化跟踪功能。在矿局域网内所有经授权的终端（电脑、平板、手机）APP 上均可实时查询矿车、物料运转信息。

11.物料联网审批。物料装车申请、审批、运输交接等手续全部通过网上办理。

12.车辆统计。自动统计每班车辆使用数据（上下井车辆数据、车辆积压数据、各地点车辆详情等）并生成可打印报表，为区队调度生产提供依据。

13.积压车报警提示。当车辆在某个地点停放时间超过设定值时，调度中心主控计算机界面显示超时报警。

（三）工作经验

1.机车 UWB 精准定位基于矿井现有人员精确定位系统建设，避免了矿井出

现两套精准定位系统情况，减少项目建设成本。

2.矿井多种运输方式统一平台调度管理，避免了一种运输方式一套系统的传统做法，提升井下车辆运输调度效率，减轻调度人员工作强度。

3.智能物流系统采用分站自动读取车辆位置信息，对井下矿车、物料实时追踪，配合手机 APP 使用，提高物料运输效率。

二、技术特点及先进性

赵楼煤矿辅助运输精准调度系统采用了国内多家厂商的先进设备及技术，车辆精准定位采用天地（常州）公司的 UWB 精准定位设备及技术，车载终端采用了北斗天地的 KJ593-D1 设备，机车监控系统 and 智能物流系统采用了合肥工大高科的 KJ293（A）机车监控系统，最终将上述设备及技术整合在一起，建成我矿辅助运输精准调度系统。

该系统适用于各类井工矿井运输系统，技术成熟，具备可复制、易推广特点，且大部分设备能够实现国产化生产，就目前而言，各项技术在行业内均处于领先水平。

三、智能化建设成效

赵楼煤矿辅助运输精准调度系统已稳定运行 1 年以上，上述建设功能运行正常，实现了南部 2#辅运大巷、七采区辅运巷 9 部单轨吊、14 台胶轮车以及 8 台电机车的机车精准定位及调度管理，以及井下智能物流管理。通过使用该系统，解决了传统人工调度找车难、找料难、找人难的痛点难题，通过系统软件界面，可以实时查看井下所有车辆位置信息、司机信息，随时掌握井下运输系统状况，为高效合理的调配井下运输提供了可靠支持，提高了辅助运输工作效率。

利用该系统内的智能物流模块，配合使用手机 APP，代替传统人工查料，实现物料计划、审批、交接等手续网上办理，同时能够快速查询物料位置、车辆编号、运送地点等信息数据，提高了物料车辆周转效率，减少了传统查料所用人工 3 人，提升了物料运输配送效率。

案例 54 塔山煤矿辅助运输安全智能管控系统

主要完成单位：同煤大唐塔山煤矿有限公司

一、主要建设内容

塔山辅助运输安全智能综合管控系统（图 1）采用高精度定位（静态 0.3m、动态 7.3m）与真实比例三维矿图相结合的原则，结合超速、闯红灯监测等手段，实现了车辆资源及安全行为可视化监控；对于车辆、司机等各类资源分配实施信息化管理，用车申请及审批信息化，能够根据任务自动排班，实现了科学安排，统一调度，智能化候车管理，人性化服务井口信息综合展示；车辆具备井上调度员和井下司机通过人员定位的无线 WiFi 连接呼叫无线语音通话，和视频通话的功能。使用手机 APP 动态申请车辆资源查阅车辆分派情况，向管理人员及时推送问题；空车司机通过智能终端在井下接受调度任务，行车过程视频记录、实现了防碰撞语音提醒功能；能够实现大数据分析功能汇总人员、车辆大数据，掌握人员及车辆运行态势用于矿方优化资源使用效率，实现了辅助运输的智能化管理。

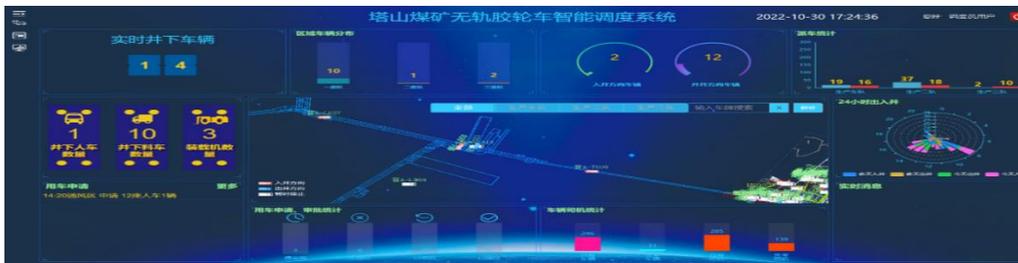


图 1 辅助运输管理系统

塔山辅助运输安全智能综合管控系统的音视频通讯功能通过车载终端设备连入煤矿环网，基于目前主流的 WebRTC 技术，实现了井上调度和井下司机之间的双向视频语音通话（图 2）；同时也支持多种视频语音通讯方式。该功能有效地解决了调度、车队和矿井司机之间的实时联络问题，同时提升了沟通效率，能在紧急情况下更快地进行车辆人员组织调度，大大增强了应对急难险要场景的能力。

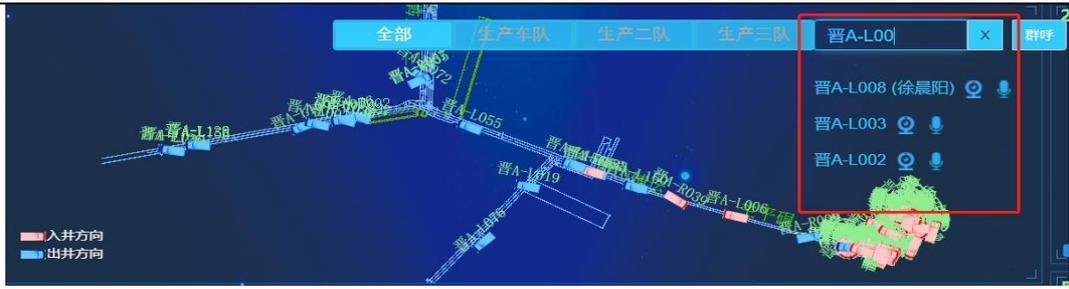


图2 地图车辆查找和视频语音通话入口

同时针对车辆运行中噪音过大,无法听清通话内容的问题,系统进行了优化,通过蓝牙外接麦克风扩大音量的方式进行了改进,获得了司机师傅们的一致肯定。此外,考虑到无轨胶轮车行驶中司机操作设备可能导致的安全隐患,系统配备了装载在车辆底座上的物理按键,可以进行一键操作来实现通讯功能,极大地降低了操作难度,提升了安全性。

二、技术特点及先进性

1.实时高精度地动态展示井下车辆位置

系统使用的新一代读卡器及标识卡实现了井下单点覆盖半径 700 多米,采用 UWB 定位技术,定位精度 30cm,可精确实现井下人、机、物、料等的物联网管理,同时系统与真实比例的三维地理信息系统配合,可在矿井地图中实时动态的展示井下车辆的位置以及运行轨迹(图3)。

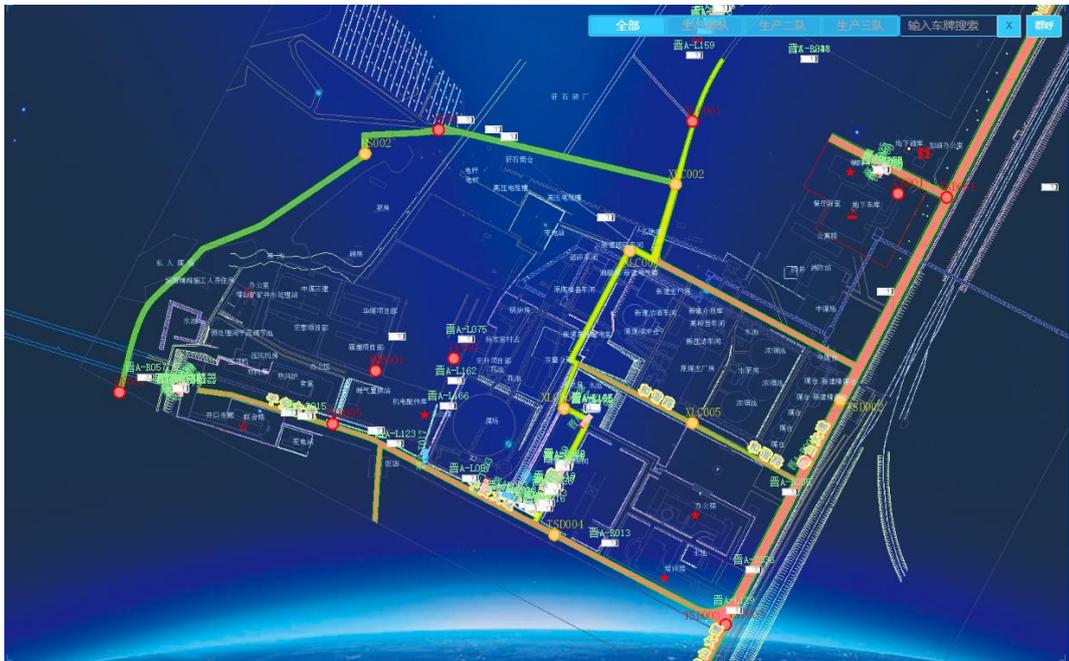


图3 二维高精度地图

2.井上调度与井下车辆之间的视频语音通话

塔山辅助运输安全智能综合管控系统使用目前主流的 WebRTC 技术框架搭建了一套实时通讯系统，依托 5G 网络以及车载平板等硬件可实现调度端与井下车辆之间的视频语音通话。尤其在各类紧急情况下，系统可实现调度端对井下在线状态的所有车辆进行强制群呼，极大的提升了调度效率和信息传递的及时性。

3.车辆智能调度

研发了井下用车“网约车”模式，使用手机 APP（图 4）提交用车申请，后台无人化智能调度，直接将用车信息推送给司机接单，精减用车审批流程，提高工作效率，提高统一调度信息化水平。



图 4 手机 APP 操作界面

4.车辆入井唯一性校验

塔山煤矿无轨胶轮车司机出车时进行合法性验证，对司机和车辆进行绑定，当司机未通过人脸识别并启动车辆时系统会发出警报，并提示相关信息，当任务结束或需要更换车辆时，进行收车管理，解除车辆的出车状态，并取消车辆与司机的绑定关系（图 5）。



图 5 车辆入井唯一性校验

5. 车辆行车记录仪、车载倒车雷达和倒车影像

塔山煤矿无轨胶轮车均安装行车记录仪、车载倒车雷达和倒车影像，在车辆的行驶过程中，行车记录仪会实时保存车辆前方捕获到的影像信息，方便在需要的时候调查取用。

司机在启动倒车之后，车载终端会自动调用倒车影像和带车雷达功能，平板上会将倒车摄像头捕获的影像和倒车雷达反馈的距离信息实时的显示出来，辅助司机进行倒车，保证倒车的安全。

6. 井下智能信号灯

车辆下井后，行驶至主要巷道或者交叉路口时，井下智能信号灯会根据不同路口车辆距离远近进行变灯控制，确保最接近信号灯的车辆能够绿灯畅行，其他路口则同步变换为红灯，避免交通拥堵或者事故的发生。既保障路口通行安全又减少了车辆的等待时间。

7. 防碰撞提醒

车辆在井下行驶过程中，系统根据车辆周围情况的进行分析，如果周围有相向来车、固定障碍物及路口，会对车辆进行提醒。

8. 特种车预警

特种车辆入井后，会对其他普通车辆进行广播播报，提醒其他车辆进行避让。播报的内容为特种车辆位置、时间等信息。这种方式在拥挤的巷道中极大地提高了特种车辆通行效率和安全性。

三、智能化建设成效

目前矿井共有在用人车、料车、特种车辆等无轨胶轮车 223 辆,司机 124 名,运行期间,日平均执行任务 450~500 趟次。通过就近车辆调度,车辆无须出井。直接就近派车,减少车辆来回往返的无效运行时间,降低了车辆的无效运行油耗。根据统计数据,在该项技术应用之前-车辆日平均总运行里程 11200 公里,日平均油耗 3560L;技术应用之后车辆日平均总运行里程 9180 公里,日平均油耗 2920L,油耗降低了 18%,整体运行效率提升了约 20%左右,尾气排放大幅减少,井下空气环境得到较大改善;车辆入井采用智能身份监测模块,减少入井车辆管理员 3 人;通过智能用车审批模块,减少管理人员 3 人,综合运维成本减少了约 30%;车辆在井下行驶过程中,车载终端推送防碰撞信息,提高了司机的行驶安全。

案例 55 九龙煤矿辅助运输智能调度系统

主要完成单位：冀中能源峰峰集团邯郸宝峰矿业有限公司

一、主要建设内容

（一）系统建设的基本情况

随着科技的发展，建设智能化煤矿已成为不可阻挡的趋势，九龙矿从“装备现代化、生产自动化、管理信息化”入手，采用 4G 无线通信技术搭建了井下运输巷道全覆盖多媒体移动通信网络，形成了矿井运输智能调度指挥系统。该系统可实现各类通讯信息发送、视频调度指挥、机车障碍物甄别报警、关键运输卡口监控、车辆智能识别和周期性统计等功能，做到精细化管理，有效的提高了煤炭企业的经济效益和社会效益。

1. “矿井轨道运输系统”简介

九龙矿巷道布置采用立井单水平开拓，水平标高为-600 米，轨道运输平巷长度 8000 米，使用 CTL12/6P 型蓄电池机车作为牵引进行运输；轨道斜坡采用绞车进行提升运输；主要运输大巷轨型为 30Kg/m，轨距均为 600mm，枕距为 700mm；工作面运料巷采用无极绳车、单轨吊等设备进行运输。

2. “运输智能调度指挥系统”实施背景

九龙矿原有运输调度系统是采用泄漏通讯的方式来达到指挥调度的目的，通讯信号易受干扰、通话噪音大、不稳定、系统维护困难、无拓展能力。相比之下，4G 无线通信技术具有高带宽、灵活移动性、全 IP 化、成熟稳定可靠等优势，非常适于作为智慧矿山的基础无线网络平台，是实现智能化调度指挥解决之道。

（二）系统建设的主要内容

系统创建分井上、井下两部分内容。井上部分包含创建 4G 网络系统机柜和建设运输指挥调度台。井下部分包含安装 4G 基站及电源、铺设光缆及电缆、机车部署防爆摄像头及 PAD 屏幕、关键运输线路部署监控系统、投入使用防爆移动手机，从而形成整个运输智能调度指挥系统，如图 1 所示。

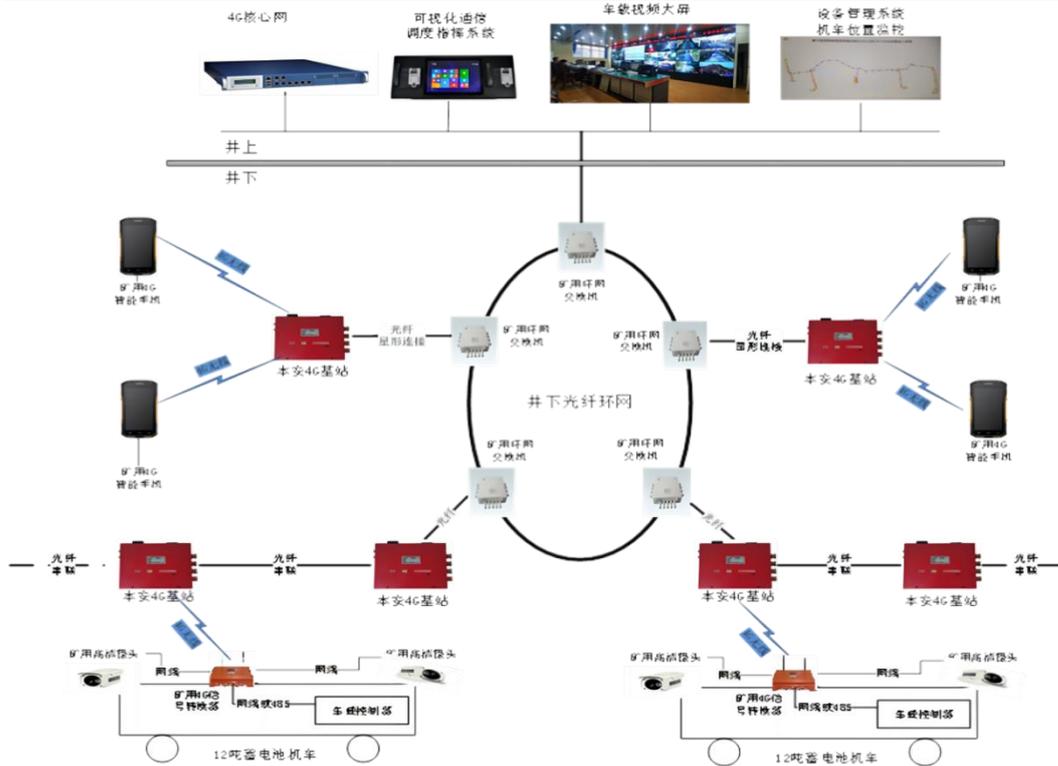


图 1 构架拓扑图

1.地面核心系统建设

井上 4G 网络系统机柜安放在九龙矿通信中心机房内，配备一台 4G 核心网 EPC、一台可视化多媒体调度服务器、一台核心交换机、一台 E1 网关和一台 NVR 视频服务器。为实现系统网络传输和数据系统分析奠定了基础。

2.地面运输指挥调度台的建设

地面运输指挥调度台建设在运输区值班室，配备 1 台运输调度 PC 和一台监控大屏。可实时掌握井下本安 4G 智能手机的注册情况及通话状态，有优先呼叫和紧急呼叫权，可组织召开视频会议，可监控车辆实时画面和区域性位置，实现了对矿井无线通信系统用户的统一调度。

3.井下基础设备的建设

井下共安装 4G 基站及配套电源装置 75 套，铺设光缆线两万余米，4G 基站直线信号传输距离为 300 米，实现了井下运输巷道 4G 无线信号全覆盖。

4.井下机车智能化改造建设

每台机车司机驾驶室内各安装一部摄像头、一台本安型 PAD 及一部信号转换器。实现了机车行驶视频采集、存储和上传至地面调度台等功能，并且可通过

摄像头 AI 智能系统，识别前方误入人员及障碍物，发出声光报警。

5.井下运输关键线路监控系统的建设

运输大巷分南北翼两条线路，进出车辆必然会通过南北翼两个卡口。此处各安装一台视频监控，实时画面可上传至地面运输指挥中心，并且通过地面 NVR 视频服务器，自动计算各类型车辆所挂车厢数。

6.井下通信手机的配备

智能运输调度平台的用户最大容量可达到 500 人。目前，根据生产需要共发放 200 部智能手机，实现了地面、井下生产指挥通讯全覆盖。

7.拓展功能的建设

4G 网络建成后，通过与“安全生产标准化评分”系统的互联互通，实现 4G 手机用户可进入评分系统进行标准化检查打分，达到了“一机多用”的效果。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

本案例采用 4G 无线信号，在井下建设一张全覆盖的高速多媒体移动通信网络，源源不断的将井下固定或移动设备数据、视频、语音等多媒体信息传输至井上生产指挥调度中心，经井上调度人员或云端大数据处理后产生远程指挥调度信息以及井下设备遥控指令。另外，采用基于视频识别的 AI 人工智能技术，用于辅助机车安全驾驶，大幅度降低生产运输事故。

（二）系统的先进性

1.运输调度信息化

4G 通信系统与原有的有线生产调度系统、行政电话、广播系统实现互联互通；地面运输调度人员可根据系统调度 PC 精准的找到井下执行运输任务的工作人员，通过 4G 手机进行语音或视频通话，可快速准确的下达任务指令，避免了调度指挥井下“一摸黑”的现象发生。

2.运输调度实时化

通过地面值班室监控大屏，值班人员可实时监控机车运行情况，指挥督导工作人员按时完成生产任务，同时系统可调阅视频回放，做为追溯分析事故的管理依据，减少操作人员违章可能性。

3.运输调度精准化

通过系统软件，地面值班人员可精准了解井下机车分布区域和运行态势，另外，通过系统软件可对 4G 基站供电电源进行远程集中监控，变成红色为故障点，精准定位故障点，大幅度提高网络运维效率。

4.机车驾驶智能化

通过人工智能算法对车辆行进过程中前方人员或障碍物进行识别，并通过声光报警方式提醒驾驶员注意规避，有效提高行车安全。驾驶室內的 PAD 实时显示行进画面，便于司机全面掌握前后行车环境。

5.生产运输精细化

通过南北翼卡口监控系统，可自动收集、统计运输车辆数量情况，并按照日期进行统计、报表，节省了人力，提高了统计的准确率。

三、智能化建设成效

（一）生产效益

该系统使井上、下人员通信不仅听的清而且看得见，既提高了通讯质量，又摆脱了传统线缆通讯的束缚，丰富了通讯手段，全面提高了运输调度效率，降低了劳动强度，提高了职工幸福感。同时，通过工作面 4G 基站的安装，为实现智能化矿井移动物联网，打下良好的网络基础。

（二）安全效益

该系统有效的防止机车在运输线路上发生碰撞事故，降低了事故率，同时，也解决了生产中运输车辆定位不准确、不全面而带来的安全问题，杜绝了机车走顶、追尾，从而避免车辆设备损坏及人员伤亡事故的发生，为矿井创造了一个安全的生产环境，产生了巨大的安全效益。

（三）经济效益

井下调度站实现无人值守，由地面值班人员通过智能指挥调度系统完成运输生产任务，做到了减人提效。同时可准确掌握所有机车位置信息，利用智能指挥调度业务功能，科学合理的调度车辆运行，使车辆就近完成运输任务，有效减少车辆跑空趟和无效运输，提高了运输效率 30%，每年创造效益约 5846 万元。

案例 56 赵固二矿单轨吊车智能化管理系统

主要完成单位：焦作煤业（集团）有限责任公司

按照河南省下发的《关于深化全省煤矿“一优三减”及“四化”建设的指导意见》要求，赵固二矿依靠科技进步，大力推进矿井“机械化、自动化、信息化、智能化”建设，多措并举，实现西部采掘地区单轨吊辅助运输系统连续化、高速化、安全化长距离运行。下面，将赵固二矿单轨吊车智能管理系统建设情况汇报如下：

一、基本情况

赵固二矿位于太行山南麓，焦作煤田东部，河南省辉县市赵固乡境内，井田东西长 8.5~11.8km，南北宽 0~6.5km。

赵固二矿于 2007 年 1 月 9 日开工建设，2011 年 4 月 23 日竣工投产。矿井为煤与瓦斯突出矿井，设计与核定生产能力均为 180 万 t/a，主采二叠系山西组二 1 煤，地质储量 3.39 亿 t，可采储量 1.39 亿 t，煤层倾角 2~6°，平均厚度 6.16m，属近水平、稳定型厚煤层。煤层不易自燃，煤尘无爆炸危险性，地温正常，水文地质类型为复杂型。

赵固二矿目前井下在用的电机车总共有 3 辆，主要负责将物料运输到与单轨吊车换装的车场。单轨吊车共计 10 部，6 部柴油机单轨吊车，4 部蓄电池单轨吊车。单轨吊车主要负责将电机车运输的物料运送到不同的巷道及采区工作面。

二、建设概述

单轨吊车是一种先进的运输方式，具有可靠性高、防跑车、不掉道、不受底板限制、爬升能力强和控制精度高等优点，但是传统的单轨吊车运输管理模式，缺少对运输过程中的安全管控，没有形成科学、合理的运输管理逻辑，存在一定的安全隐患，容易发生顶牛、撞风门等问题，严重影响了运输效率，增加了管理风险，间接的影响了矿井的经济效益，同时也制约着智能化发展的脚步。

为解决上述难题，赵固二矿于 2020 年 11 月开始与相关单位合作研发单轨吊

车智能运输管理系统，实施机房设备、井下电缆、井下基站的建设安装工作。系统建成后，减少了人员的工作量、规范了物料运输管理、提升了运输效率，逐步实现智能化运输。

三、实施效果

单轨吊智能管理系统是集精确定位、实时测速、调度通信、GIS 地图、道岔控制、红绿灯闭锁、单轨吊车状态数据采集、自动分析、联动告警、过风门告警、人员误入安全保障、信息发布等功能为一体，并实现对车辆统一调度的管理系统。能够将司机—单轨吊车/电机车—跟车工—用料单位—调度中心等涉及物料运输的生产要素有机的联系起来，对从物料装车、倒装到卸货还车整个运输过程全方面的管控，减少资源浪费、提升生产效率。系统选择各类控制设备时，保证控制系统具有很强的系统扩展和升级功能，为系统今后的完善、提高留有充裕的扩展容量；采用先进的技术和设备，确保系统功能全面、性能优质，运行可靠，在技术、管理方面处于同行业最先进水平。

系统采用基于 UWB 的精确定位技术对单轨吊车以及车辆位置信息实时监测，静态定位精度 0.3 m、动态定位精度 1 m。系统使用的连续定位技术，无线信号和精确定位信号做到同距覆盖，可在 GIS 地图上实时显示车辆行进路线、位置信息、道岔和红绿灯状态、实时速度信息、车辆基本信息等，能够与矿上智慧矿山平台对接，支持全矿一张图显示。

系统支持基于 Wi-Fi 的全矿集群对讲通信，各基站下的同组对讲机不受物理区域位置限制，声音分贝不小于 85dB，全数字化，抗干扰能力强，对讲机可分为 16 组，对讲机正常语音对讲可使用时间不小于 24 小时。矿井物料运输的报料、分配车辆装料、井下运输、车场倒装、物料位置查询、卸车还车等环节可以在智能调配 APP 终端完成。智能调配 APP 终端具备通话、调度、视频、拍照等功能，矿用本安手机支持脱网对讲通信功能。

系统可通过矿上广播通讯调度平台对智能调配 APP 终端和矿用本安手机进行强插、强拆、组呼、全呼、录音等调度功能，支持后期扩展智能调配 APP 终端来电时车载监控分站可以显示来电信息，支持有线电话与无线终端的互联互通，

调度监控中心调度员能对所有 Wi-Fi 数字对讲机集中对讲通信。

系统能够实时监控单轨吊车运行前方和后方的路况信息，司机可以通过车载监控分站观看车载摄像仪的实时画面，便于在交叉口，视野盲点等地点提供辅助功能，有利于安全行车。支持本地存储和视频回传，监控调度可远程实时查看任意一台车的运行图像，可对单轨吊车的行进路线和运行情况进行整体回放和重演。系统可对道岔、红绿灯（故障/工作）状态进行监控，支持道岔、红绿灯远程控制，设备故障可向调度员、司机发出告警提示，就地控制优先级大于远控优先级。

系统支持单轨吊车运行状态信息的采集，对单轨吊车的运行状态信息进行采集并监控，当检测到异常状态，会发出告警信息，依据运行时间或者行驶里程制定合理的维护保养计划。系统支持对人员误入单轨吊车运行区间进行联动告警，提醒调度员和司机注意行车安全。支持与车辆位置的联动提醒告警功能，当车辆运行距离小于 100m，系统可向司机推送联动告警信息，提醒司机注意安全运行。联巷口设置矿用本安显示屏，单轨吊车行进到联巷口 50m 处，对应联巷口通过本安显示屏，显示“车辆通过，注意安全”和语音提醒。

系统与矿上原有广播系统的融合联动，依据车辆的精确定位，当运行到当前位置时，可联动附近广播发出“车辆通过，注意安全”等语音提示信息。车辆运行过风门时，提前联动本安显示屏发出语音声光告警安全提醒；支持定位系统联动井下本安显示屏，实现固定区域的联动告警功能；也可在地面通过软件向井下显示屏推送文字信息，传递通知。

系统配置有数据服务器，支持多个客户端同时监控和管理功能，便于调度监控中心同时对车辆进行管控和信息掌握，减少信息传递时间，提升调度效率。生成单轨吊车运行时长表、单轨吊车车辆报表、车辆轨迹活动报表、车辆调度日报表、周报表、月报表、年报表、区域运输情况报表、分析单轨吊车功效为矿井安全生产提供依据。

第六章 智能防灾

案例 57 乌东煤矿冲击地压多元融合智能监测预警系统

主要完成单位：国家能源集团新疆能源有限责任公司

一、主要建设内容

（一）实施背景

我国新疆、甘肃、宁夏等西部煤炭主产区存在大量的急倾斜煤层，煤炭储量占全国煤炭已探明储量的 36%。该类煤层的地质条件、应力条件和开采条件与缓倾斜/倾斜煤层差异大，冲击地压过程复杂，形势更加严峻。创新发展该类煤层冲击地压智能化治理水平是行业发展的重大科技需求，也是避免灾害发生、维护西部地区社会和谐稳定和经济可持续发展的必然选择。

针对上述问题，国家能源集团新疆能源有限责任公司与北京科技大学、国能网信科技（北京）有限公司联合攻关，研发了新疆自治区第一个冲击地压多元融合智能监测预警系统，建立了冲击地压监测预警中心，并首先在乌东煤矿成功应用，提高了冲击地压监测预警准确度及风险防控智能化水平。

（二）建设内容

1.建立了冲击地压多元融合与智能互馈监测预警理论方法，实现了对冲击主控因素的智能判识和冲击危险状态的智能预警。

研究揭示了冲击地压孕育过程多元前兆信息响应规律及不同参量对冲击地压主控因素的响应敏感度，构建了包含微震、地音、电磁辐射、应力在线、支架压力等监测系统的 20 余种时-空-强参量组成的冲击地压多层次预警指标体系。

利用随机策略对时空强前兆预警指标进行随机组合，利用遗传算法进行预警指标组合智能优选，基于 R 值评分法确定预警指标组合的预警效能，以预警效能最大化为原则，自主判定最优预警指标组合、预警临界值和预警周期。

利用综合异常指数法构建具有长期和短期预测能力的单系统预警模型（图 1），利用模糊综合评价法集成各预警子系统构建多系统多参量集成预警模型，模型可与现场条件互馈，进行自我更新和智能升级，实现冲击地压前兆预警指标临

界值和权重值的自适应调整，全面反映冲击地压整体动态孕育特征。

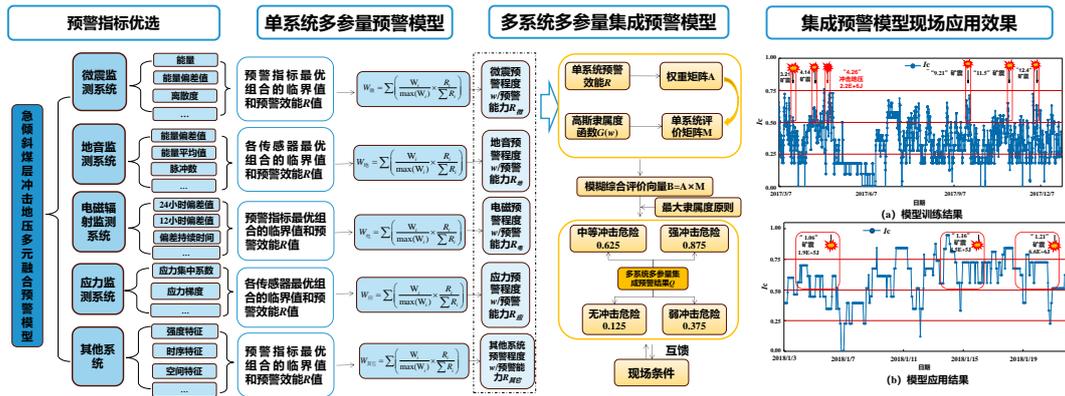


图 1 冲击地压多元融合与智能互馈监测预警模型

2.研发了冲击地压多元融合智能监测预警系统平台，实现了冲击地压时空分区分级智能可视化预警和实时在线专业化防控。

研发了面向煤矿的多源异构数据管理软件系统和物联网主机，实现了“震-电-力”多源异构数据采集；建立了冲击地压多元信息数据资源池，研发了基于大数据平台的数据治理系统和基于人工智能平台的模型训练开发系统，实现了多元数据的挖掘和融合分析；构建了由感知层、基础设施层、平台层和应用层组成的平台架构体系，搭建了冲击地压多元融合智能监测预警系统平台（图2）。

系统平台由冲击地压监测预警一张图、实时监测、综合预警、报表系统和设备管理等 5 个模块构成，具备冲击危险空间分区、危险分级、实时智能预警、语音报警、一键生成报表与设备状态管理等 6 大功能，可准确感知与自主判识矿井采掘过程冲击危险，大幅提高灾害预警与防治效率。



图 2 冲击地压多元融合智能监测预警平台

冲击地压监测预警一张图可统揽全矿井各个作业面微震定位结果和其他监测参量的实时曲线，以及多参量集成预警结果，并根据预警结果进行相应的语音报警；可直接下钻至其他各模块，便于技术人员快速查看详细异常信息。实时监测模块可视化展示各监测系统实时监测数据的时空演化规律并可以通过时间段选择和滑动窗等方式查看历史数据，辅助技术人员进行安全态势分析与决策。综合预警是本系统的核心模块，该模块可实现对各系统时-空-强多维度预警指标、单系统多参量集成预警结果、多系统多参量集成预警结果的实时、可视化展示，内嵌的多系统多参量集成预警模型，综合考虑了各系统优势特点，利用人工智能和现场条件互馈智能优选预警指标及其权重，自适应调整预警临界值，实现了预警准则统一和预警临界值统一，并输出一个预警结果，避免了各系统相互独立、预警结果不一致的问题。报表系统模块采用交互式设计，根据乌东煤矿实际条件定制开发，可智能统计分析监测数据、标准化一键生成报表，使原来耗时 100 分钟的人工报表减少到 5 分钟以内完成，工作效能提高了 95%以上。设备管理模块用于管理维护各监测系统的运行设备，可根据现场采掘情况零代码增加、删除监测设备并自动匹配作业面，可实时查看监测设备的运行状态，对故障设备实时告警。

3.实现了冲击地压多元融合智能监测预警系统平台本地化部署（图 3），保障

了监测预警平台软硬件的稳定性、预警结果的时效性、工业网络的安全性。

通过部署本地服务器，将数据远程传输、云端平台数据储存与分析的模式改进为数据在本地内网传输、本地服务器储存、智能分析与本地内网发布和访问。

智能监测预警平台本地化部署后，平台运行在相对封闭的网络环境中，企业集团对网络安全进行统一管控，网络仅受现场和集团内网影响，传输过程不流经外网，受外部攻击的隐患显著降低。同时，数据传输速度更快、数据丢失大幅降低，提高了数据传输调用过程的安全性、稳定性和数据分析与处理的实时性，为安全生产提供了重要保障。建立本地化运维模块，可通过零代码操作，满足平台随采掘接替同步调整各工作面的数据采集、分析与智能预警的需求，极大的提高了现场运维的便捷性。平台本地化部署至今，运行可靠稳定，运作效率有效提高。

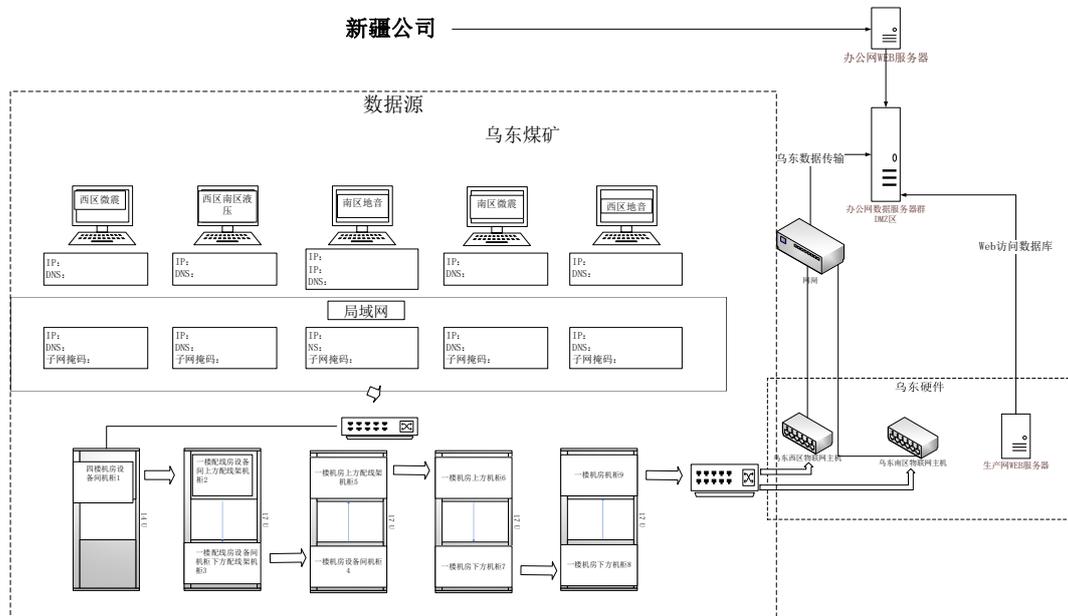


图3 冲击地压智能监测预警平台本地化部署网络拓扑图

二、技术特点及先进性

1.技术特点

冲击地压多元融合智能监测预警平台可综合利用微震、地音、支架压力、电磁辐射等各监测系统的优势，并可根据现场条件集成扩充新的监测系统；平台集成了“时-空-强”多维度预警指标体系，可表征不同冲击地压主控因素的影响规律；集成预警模型可与现场条件互馈，自主判识冲击危险主控因素，可根据现场条件变化和实际危险状态进行自我智能迭代更新，全面反映冲击地压整体动态孕育特征，提高灾害预警的准确性及可靠性。

多元融合智能监测预警平台利用物联网、大数据、人工智能等技术，构建了由感知层、基础设施层、平台层和应用层组成的平台架构体系，建立了冲击地压多元信息数据资源池，实现了微震、支架压力、地音等多源异构数据的标准采集、存储与融合分析。通过本地化部署建设，冲击地压多元融合智能监测预警平台运行环境仅受现场及集团网络影响，受外部网络攻击的隐患显著减小、数据传输速度和稳定性大幅提升，保障了冲击地压监测预警的稳定性和时效性。

2. 先进性及成熟度

成果达到国际领先水平，技术成熟，可大范围推广应用。

3. 适用范围

适用于冲击地压矿井。

4. 国产化程度

本技术及成套设备全部实现国产化。

三、智能化建设成效

该成果获得国家发明专利 8 项、美国专利 2 项、软件著作权 1 项，制定行业标准 2 项，发表高水平学术论文 43 篇。成果大幅提升了矿井智能化水平，提高了灾害治理的超前性、靶向性和实效性（图 4）。冲击地压多元融合智能监测预警系统平台应用以来，平台智能分析监测预警数据、导出矿井冲击地压生产日报表，每日可节约防冲技术人员 1.9 个工时；乌东煤矿冲击危险预警准确率由不足 70% 提高到 90% 以上，预警无危险准确率达到 100%，分别在 2022.01.18、2022.01.30、2022.02.18、2022.02.26 等生产作业期间对动力显现事件进行了成功预警，及时采取了防冲措施消除了冲击危险，避免了冲击地压导致的灾害事故。冲击地压多元融合智能监测预警平台有力保障了矿井安全生产，安全开采了冲击地压威胁区域煤炭资源 519 万吨，创造了 13.6 亿元效益。

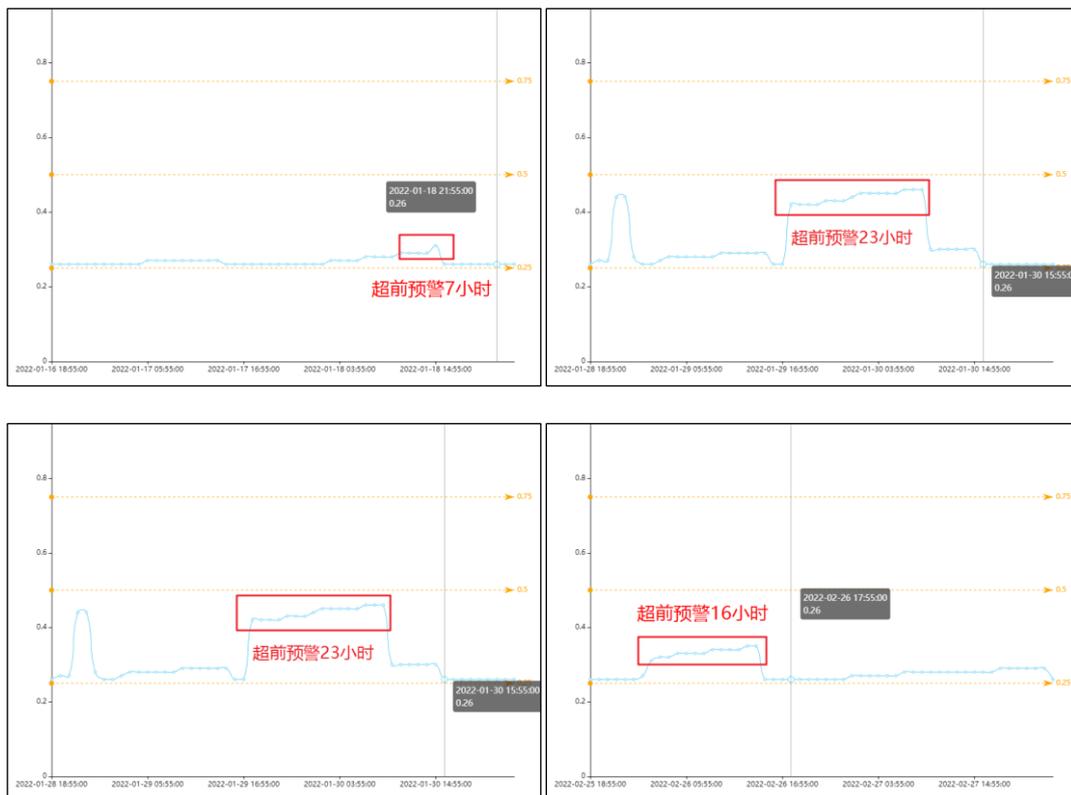


图4 冲击地压多元融合智能监测预警平台成功预警案例

案例 58 布尔台煤矿灾害综合预警监控系统

主要完成单位：国能神东煤炭集团有限责任公司

一、主要建设内容

（一）灾害预警监控平台建设概述

布尔台煤矿秉承矿井灾害“可防、可控、可治”的理念，以“灾害监测实时化，预测预报自动化，解危检验标准化”为目标，基于“多参量综合预警算法+实时数据采集+综合数据分析”技术，利用多种软硬件接口，构建全矿井统一、稳定和高效的灾害集控综合平台。该平台以煤矿灾害预测预报和防治为主线，对矿井灾害“分类、评价、解危、预警、检验、支护、管理”等主要环节，进行多因素全流程的数据采集、智能分析、措施优化，将矿井灾害事故预防向事先预警与预控方向发展，实现矿井灾害智能化决策。

（二）灾害预警监控平台系统架构

灾害预警监控平台由数据采集助手、监测预警平台主监测分析软件和云传输软件三大部分组成。数据采集助手主要功能为从各子监测系统数据库采集数据至监测预警平台数据库；主监测分析软件主要实现对已采集数据进行多参量预警、数据查询、自动报表等功能；云传输软件将本地数据上传至网络，实现数据的远程传输。数据获取路径如图 1 所示，综合监测计算机监测软件安装完成后，通过数据获取助手在局域网内完成数据的采集，实时读取和记录基础监测数据至监测预警平台服务器内的数据库内。灾害预警监控平台软件通过实时读取并刷新本机的数据库文件，实现各子系统数据的实时展示和处理分析等功能。与此同时，云数据上传助手将本地数据库同步至云数据库，实现数据的多终端实时共享。

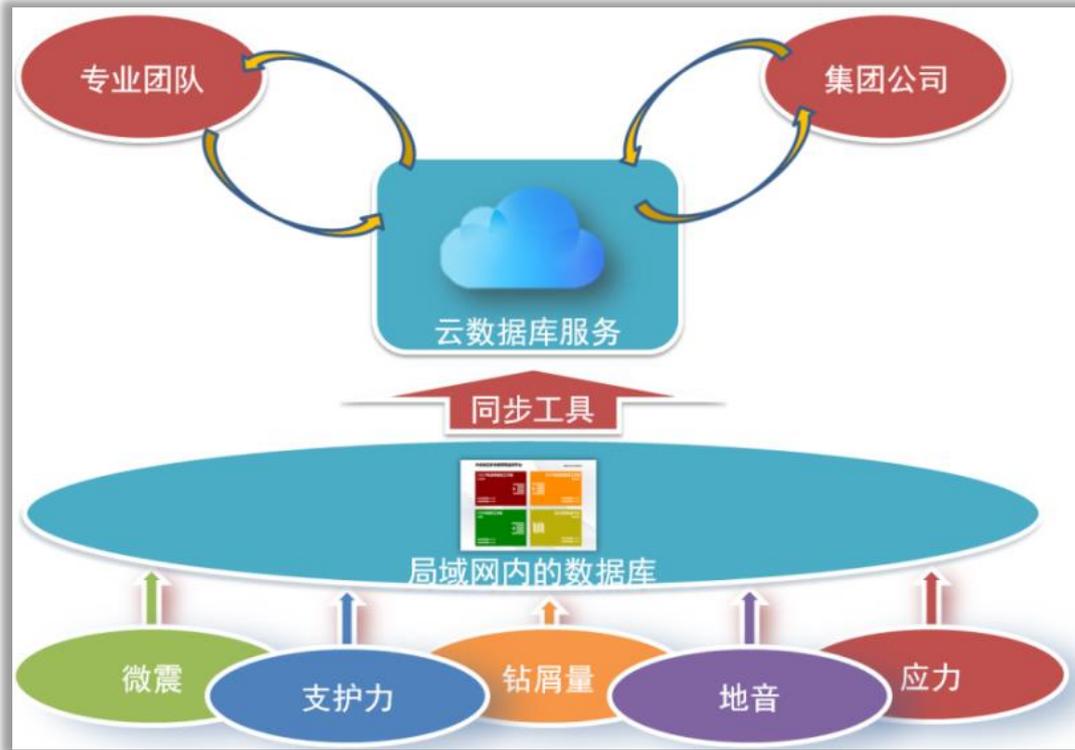


图 1 灾害预警平台系统数据获取路径示意图

（三）灾害预警监控平台相关功能

1.数据的自动采集功能

实现矿井现有的矿压在线监测系统（包括煤层应力、微震、支架阻力等）数据的自动采集，自动采集的数据字段完全按照国家应急管理部的传输协议的要求进行采集，满足与上级监管部门数据传输。

2.多系统综合展示功能

实现全矿井各监测设备数据和工作状态的综合展示和实时刷新，实时掌控全矿井范围内危险区分布和危险等级，同时实现多个监测系统的统一管理，监测数据可实现多个维度的展示，三维矿图中能够展示各监测系统测点的详细信息，以及一段时间内测点的变化曲线等统计功能。

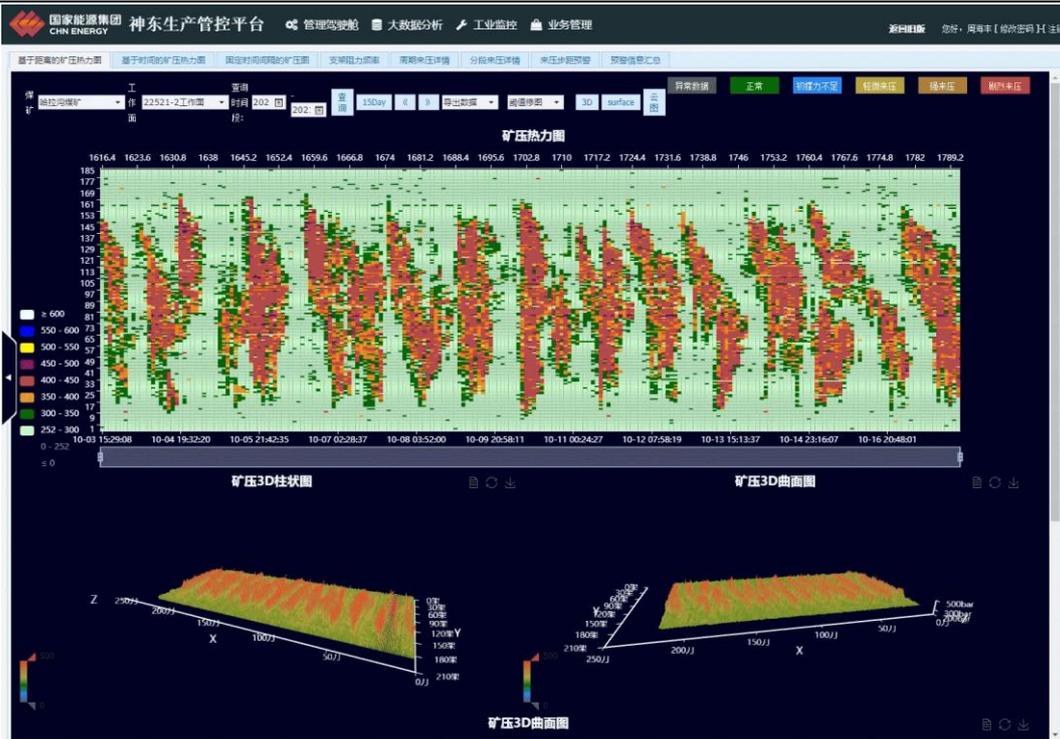


图2 矿压智能分析

3.数据分析和综合预警功能

在统一时空框架的“一张图”上对各工作面及重点监测区域的开采进度、监测设备运行状态、数据采集质量等进行综合监控，实现基于位置信息的矿压多参数综合分析，以百分制形式定量确定区域矿压监测指标。采用自主研发的多参量综合预警算法，对接入各在线系统，结合静态的评价结果，以及矿井一段时间内的监测系统的统计情况，合理选择预警指标并赋予不同的权重系数，最终得出矿井不同监测区域的预警值，分为综合预警值和局部预警值，更符合矿井实际。

4.重点监测区多系统联合分析功能

可实现应力预警测点（或微震大能量事件）一定空间范围内的其它应力测点（地音测点、微震事件等）监测数据查询和展示，了解当前预警范围内各设备总体监测结果，为分析危险原因和选择治理措施提供依据。

5.历史数据查询功能

可同时查询和显示多个系统历史数据，了解某一时间段内各监测设备整体运行情况。

6.综合报表生成功能

通过平台软件可实现一键生成日报、周报、月报等监测报表功能。

7.数据远程传输功能

可实现原始数据与综合分析结果的实时远程同步，数据平台接口须开放，能够按照上级要求完成数据上传工作。

8.矿压相关数据融合功能

在统一时空框架下，将监测系数数据（应力、微震、综采支架等）、地质构造（断层、褶区、陷落柱）、生产进尺、钻检数据、卸压工程在防冲“一张图”进行综合分析展示。

9.监测数据可视化功能

能够将所有在线监测系统测点布置，监测信息，全部以三维形态展示在图中，根据选择的数据，已饼状图、折线图和曲线的形式展示出来，便于结合周围设备、地质、采动信息作出判断分析，柱状图显示能够进行自定义设置，且柱状较多时自动分屏轮询展示。

10.警示报警功能

对报警信息采用声光报警的方式，对于报警信息首先进行系统的初步排查，对于故障的小问题，解决备案即可，对于较大事故按照各矿防冲要求进行逐级上报，系统中设计有闭环管理的程序，方便对预警信息反馈进行查询，便于管理。

11.重点监测区轮询展示功能

可实现多工作面实时监测数据的自动轮询展示，能够自定义轮询主题界面（设备状态、实时数值、云图、柱状图等），方便监管人员实时查看动态信息。

12.工作面自动填图功能

输入采掘工作面进尺施工坐标，在三维矿图中自动填图，工作面监控的自动布局，帮助用户从时空角度更好掌控各采区实时推进信息，为地质、开采技术条件对矿压危险性的实时评估提供可靠的基础数据。



图3 灾害预警平台展示图

二、技术特点及先进性

布尔台煤矿灾害预警监控平台可对二维或三维矿压监测设备、监测数据进行三维集中展示，目前已经接入微震监测系统、应力监测系统及工作面液压支架监测系统，该平台可覆盖矿井所有矿压监测数据，实现矿压数据“一张图”综合智能分析管理。平台开发了权重可调整的预警算法，针对不同监测区域矿压影响因素及显现特征的差异，进行针对性论证调参，完善了“以计算机智能预警为主、人工预警为辅”的预警处理机制，实现了同维度多参量数据综合分析及实时预警，全面提升了多参量实时监测预警水平。

目前，布尔台煤矿灾害预警监控平台已实现了集团、鄂尔多斯能源局平台数据同步接收的功能，为数据共享与联动分析奠定了基础，同时也为上级部门实时监督提供了便利。

未来平台内将继续接入地音监测系统、PASAT.M 便携式微震探测、水文、地表沉降等系统，可进一步完善矿井多参量监测水平，更好地应用该平台实现强矿压危险性精准预测预报，指导现场提前开展针对性工作，确保矿井的安全生产。

该平台由布尔台煤矿与北京安科兴业股份有限公司合作开发，完全国产化，拥有完全自主知识产权。

三、智能化建设成效

1.实现了数据多参量综合分析。该平台解决了以往矿井监测系统多、监测参量单一且独立、各系统监控主机分散、监测结果很难进行有效的联合分析的缺点，实现了同维度多参量数据综合分析及实时预警。

2.消除了人工处理数据的误差，提高了矿井监测数据的准确性。以往矿井使用的各参量监测数据大多为人工定时分析，数据认为干预程度较高，且监测数据实时共享性及联合分析的时效性较低。该平台可按照预先设定指标进行智能分析和实时监测，且数据实时上传直接显示在平台上，可随时调取数据。

3.降低了人工处理数据的劳动强度。平台可自动进行数据处理，不需要专人进行数据处理。

4.矿压灾害预测预警，保证矿井安全开采。以往煤层应力监测系统采用划定临界预警应力值的简单方法进行实时预警，忽略了其增幅、增速等有效指标；微震系统可以确定发生震动的位置和能量大小，但未和预测预警挂钩。该平台可对矿压灾害进行预测，且超过预警指标后实时预警，矿井可提前采取对应措施，防止灾害发生，确保矿井安全高效生产。

案例 59 大海则煤矿智能巡检和辅助作业机器人应用

主要完成单位：中煤陕西榆林能源化工有限公司

一、主要建设内容

（一）智能井筒巡检机器人

智能井筒巡检机器人，用于立井井筒中罐道偏移、罐耳磨损、机械异响、超载、尾绳监测等异常情况监测，满足煤矿对井筒内部设备状态实时、全面的监测要求。

- 1.音频分析：通过音频分析井筒设备机械异响、管路砂眼漏水等状况，发现异常声音报警；
- 2.视频分析：通过视频分析罐道、罐耳、固定螺栓等状况，发现异常报警；
- 3.张力监测：监测提升载荷（钢丝绳张力）可有效防止因提升机箕斗粘煤、二次装载以及副井提升操作人员判断不准确造成超载，还可避免因超载时静荷重，导致旋转力矩过大引起制动力矩不足无法制动，发生坠罐、过卷等事故。

（二）自动化辅助接管机器人

接管机器人核心单元与部件主要包括：履带式运载底盘、液压机械臂、液压控制站、控制系统、驾驶室和遥控终端。

- 1.液压机械臂：液压机械臂控制元件选用电液比例伺服阀，可实现液压流量与液压压力的实时调制，具有动态响应快、控制精度高和使用寿命长等优点。
- 2.控制系统：控制系统集成底盘状态监测、机械手臂位置监测、传感器数据监测、指令信号传输、上下级数据交互、故障诊断报警以及数据实时分析等功能，最终实现辅助接管机器人整机作业过程控制。
- 3.遥控终端：完成机器人各液压油缸控制、机械臂位置移动、运载底盘行走和管路拖车取/放控制等功能，同时可查看机器人当前运行参数和报警信息。

（三）智能喷浆机器人

智能喷浆系统可实现混凝土自动化上料、搅拌、湿喷和智能喷浆，整体过程

可实现无人或者少人化。

智能喷浆机器人主体设计为台车的形式，将喷浆机械臂与混凝土湿喷机集成一体，主要由车体、混凝土湿喷和喷浆机械手及其控制系统组成，同时采用柴油机和电机双驱动力，两者互不影响。智能喷浆机器人集成三维激光雷达，可实现巷道断面的三维扫描与建模，通过对巷道模型的坐标优化进行机械臂路径规划，实现机械臂的自动化喷浆过程；湿喷机采用三缸式设计，可实现混凝土的稳定供料。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1.智能井筒巡检机器人

采用自主研发生产的矿用隔爆型摄像机做为核心监测元件，模块化配置，灵活性高。拥有强大的组网功能。根据现场需求，通过光缆进行信息传输。在监测环境较暗的情况下，该系统配置高强度补光灯，能够对监测环境提供充足的照明，提高对被监测设备的监测效果。

2.自动化辅助接管机器人

辅助定位功能：通过该系统能够辅助引导机器人准确到达下一个接管位置点；

机械手臂位置检测功能：通过位置检测装置控制系统，控制机械手臂的执行速度和位移，实现位置自行调整，使机械手臂以一定的精度达到设定位置；

目标识别功能：实现目标钢管识别抓取和待接钢管位置锁定；

自主检测功能：机器人通过将单次接管过程参数进行监测和分析，结合经验数据和历史数据，实现单次作业质量检测分析；

3.智能喷浆机器人

智能喷浆机器人以三维激光雷达实现对巷道空间的自动扫描与建模，并进行空间坐标的智能优化，以此基础指导系统进行喷头运动规划路径。

机械臂采用创新的回转驱动形式，适应煤矿巷道的“之”字形喷浆模式，采用动态倾角传感器实现位姿检测与控制，达到了喷浆位置与姿态的闭环控制。

（二）适用范围

1.智能井筒巡检机器人

适用于煤矿及冶金行业立井提升系统井筒装备及罐笼巡检监测，有效降低罐笼巡检人员工作强度。

2.自动化辅助接管机器人

适用于煤矿井下 200-400mm 直径管道的安装及拆卸工作。

3.智能喷浆机器人

适用于煤矿井下大巷掘进期间的喷浆工作。

（三）先进性及成熟型

1.智能井筒巡检机器人

本系统采用最先进的 COFDM 调制技术、信道编解码技术和差错控制技术，使设备能够在高速移动环境下实现视频、语音、数据等宽带多业务的实时、同步传输。前端采集设备借助无线基站的连接，与远程工作站形成整体，确保在远程工作站处完成监控、分析、告警等功能。

2.自动化辅助接管机器人

接管机器人控制系统集成三维激光雷达，用于井下巷道场景重构，为机器人目标识别和辅助定位功能提供可靠的数据支撑。

3.智能喷浆机器人

湿喷机基于混凝土泵送过程的“削峰填谷”原理进行设计，通过加入辅助混凝土缸实现了混凝土泵送过程的脉冲补偿，从而实现混凝土的稳定供料和连续喷浆，减小机械臂振动和消除喷射盲区，保证受喷面的平整性。

（四）应用的先进技术装备

1.智能井筒巡检机器人

分析研究图像处理中低层的处理算法，开发芯片的内部资源，并对图像的噪声进行去除。CMOS 图像信号经过连续的过程取样后，生成离散量化的图像数据，由于受背景光、白噪声、图像传感器本身暗电流等环境的干扰，有可能产生一些噪声数据。因此，必须采用中值滤波、平均滤波和频域低通滤波等数字信号处理手段去除这些噪声的干扰。

2. 自动化辅助接管机器人

接管机器人配备三维激光雷达，作业时可通过遥控终端启动三维激光雷达，根据激光点云扫描数据进行三维建模与场景重构，实现管路与支架的智能辅助识别功能。

3. 智能喷浆机器人

该设备采用柴油机和电机双驱形式，可满足有电和无电多种场所的应用，服务于矿山巷道的喷射支护建设过程。

三、智能化建设成效

1. 智能井筒巡检机器人

系统利用井筒罐耳装置带动发电装置以及井口无线充电装置，产生的电能供机器人使用。井筒巡检机器人每日巡检罐道梁间隙 50 余次，螺栓情况 150 余次，同步查询罐道内温度异常及电缆掉落等异常情况。系统极大降低了提升队伍人员巡检力度，真正达到减人增效的作用。

2. 自动化辅助接管机器人

以 377 管路为例，接管机器人本地操作只需约 2~3 人，接管作业时长约 4 分；人工安装管路需要 5 人，接管作业时长约 10 分，最大限度地解除人员作业时的安全隐患实现减人换人，保障煤矿生产安全、提高作业效率以提升煤矿本质安全水平。

3. 智能喷浆机器人

智能喷浆机器人应用项目在井下巷道工作面的应用，实现了真正的湿式喷浆作业和喷浆的人机协同作业，在喷浆设备研制、湿喷工艺研究与试验、现场人员智能化操作等方面取得了一些成绩。提高了掘进面装备水平，减少现场人员，降低劳动强度，降低粉尘浓度改善环境。

案例 60 王家岭煤矿全矿井 AI 视频安全管理系统

主要完成单位：中煤华晋集团有限公司

一、主要建设内容

煤矿安全生产隐患主要分为人的不安全行为、物（设备）的不安全状态及环境的不安全因素三类。为及时发现安全隐患，有效避免事故发生，各大煤矿建设了视频监控系统，矿井重点场所实现全覆盖，安全管理人员实时监控各作业过程及生产环节，但由于矿井监控点多面广，值班人员长时间保持警觉容易视觉疲劳，难以“面面俱到”。针对以上问题，中煤华晋集团有限公司联合中国矿业大学、华洋通信科技股份有限公司展开矿井安全生产视频 AI 智能分析关键技术研究，利用 AI 图像识别技术实现矿井隐患的智能识别、分析、报警和联动，全面提升煤矿企业的安全管理水平。目前，AI 视频识别技术已在王家岭矿安全管理初步应用，成效显著。

（一）技术突破

发明一种图像超分辨率重建方法，克服了矿井狭长巷道中人造光源照明下目标图像采集成像降质问题；发明一种基于模糊检测加权的模糊图像质量评价，解决了尘雾干扰的煤矿降质图像评价方法；发明基于多分辨率灰度投影的电子稳像方法，解决了采煤机、皮带机等大型机电装备运行中的机械振动对图像采集成像的模糊问题；研制基于 AI 人工智能技术和边缘计算的 AI 摄像机，实时对各种安全隐患进行分析和识别；提出煤矿人-机-环全域 AI 视频识别的云-边-端协同分析模型，构建视频识别端节点传感器、边缘计算设备、视频识别场景云服务应用体系；研发泛联兼容的矿山智脑 AI 视觉智能服务平台。

（二）现场实践

王家岭煤矿实现井上下 AI 摄像机全覆盖，配合 4G 矿灯装备、精准人员定位系统等，构建了井下安全“天网”。

1. 整体布局，因地制宜制定目标

制定了 AI 视频安全管理分步实施方案，第一步依托智能化示范煤矿建设项目对井下采掘工作面、固定场所实现 AI 摄像机全覆盖，同步开发 AI 智能管理平台，形成“人工筛查为主，AI 视频识别为辅”的安全管理模式。第二步实现井上下重要场所 AI 摄像机全覆盖，同步开展场景训练，优化 AI 智能管理平台，形成“场景 AI 视频识别，人工甄别数据”的安全管理模式。第三步优化场景算法，形成“示范场景精准推送，AI 视频分析+人工甄别”的安全管理模式。

2. “管理”、“平台”双管齐下，筑牢安全“铁网”

下发相关管理制度，明确各单位职责、筛查计划、摄像机安装点位、安装标准及考核制度，构建“AI 识别+人工筛查”的隐患排查模式，结合 4G 智能矿灯系统、精确人员定位系统，动静融合，提高隐患识别力度，推动矿井隐患排查模式变革。

3. 场景优化，提升精度，构建示范场景

依据场景识别难度，分为生产过程场景、辅助生产场景、人员行为场景和设备环境场景。目前，已形成皮带跑偏与损伤检测、规范佩戴个人防护用品、车辆超速、钻场作业全过程闭环管理、秩序乘车、规范巡检等 10 余种示范场景，井下隐患大幅下降，给与员工心里震慑，规范劳动行为。累计识别场景数据数十万条，综合识别率不断上升，井下隐患大幅下降，给与员工心里震慑，规范劳动行为。

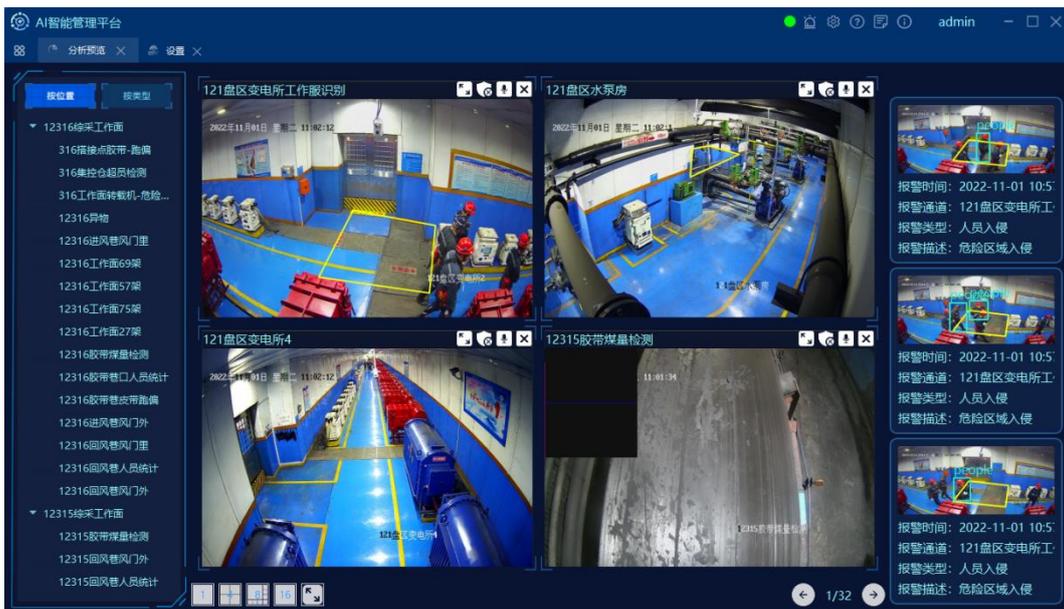


图 1 AI 智能管理平台

（三）工作经验

1. 下发 AI 视频管理办法，对 AI 摄像头安装位置、光照强度等明确规定，通过 AI 推送结合人工验证方式及时发现人、设备与环境的信息，明确各级管理人员职责，提升矿井安全管理水平。

2. 动态优化 AI 场景，不断提高识别准确性。与高校、厂家建立战略合作关系，依据井下需求不断开发新场景并对现有场景识别率进行优化，不断提高 AI 的识别准确率，达到 AI 驱动安全管理的目的。

二、技术特点及先进性

本案例依托 AI 技术，克服井下复杂环境 AI 识别问题，开发各类矿井 AI 场景，适用于煤矿的安全管理。

1. 提出煤矿安全生产视频 AI 识别的云-边-端协同分析模型，构建了视频识别端节点传感器、边缘计算设备、视频识别场景云服务应用体系，形成了全域视频感知、实时识别决策、动态协同控制的煤矿安全监管和智能化分析联动新模式。

2. 利用数据挖掘与分析和基于深度学习的智能信息处理方法，建立人-机-环的空间物理模型，攻克了煤矿人-机-环全域视频特征的信息挖掘与边缘计算难题，实现了皮带运输大块煤/堆煤/异物、采掘工作面、人员违章、无轨胶轮车的隐患快速准确识别。

3. 研发了联兼容的矿山智脑 AI 视频识别云服务平台，提出视频场景的云端深度学习自训练模型，攻克了视频识别终端在安装位置改变、光照环境不同等复杂工矿环境中识别精度快速提升难题。

4. 在王家岭矿应用“云-边-端”协同的煤矿 AI 视频识别关键技术及装备。建立 AI 视频安全管理体系，真正将 AI 在矿井落地并用到实处。

三、智能化建设成效

本案例将人工智能视频分析技术及智能装备与现代煤炭开采技术深度融合，实现安全隐患智能预警，并与自动化系统联动，进一步提升了煤矿智能化生产水平，保障了煤矿生产安全；为井下高危场所的无人（少人）操作、井下固定岗位无人值守与远程监控提供技术保障，减人提效，提高了安全生产水平，保障工人生命安全同时降低了生产和管理成本；建设智能+绿色煤炭工业新体系，实现煤炭资源的智能化安全高效绿色开发。

案例 61 付村煤矿通风系统智能决策与动态管控平台

主要完成单位：山东能源枣庄矿业集团有限责任公司

一、主要建设内容

当前采、掘、机、运四大系统智能化发展态势显著，而通防系统智能化建设成效滞缓，人工或半人工监测调控的矿井通防系统模式已不能有效应对瓦斯异常涌出、巷道变形、火灾或煤岩动力灾害等突发问题，矿井安全高效生产面临巨大风险与挑战。通防智能化与应急决策控制是提高智慧矿山现代通防建设发展的必然途径，亟待从矿井通防系统安全监测、超前预警、智能决策及动态管控等重大技术难题出发，提高矿井通防系统的信息化、自动化和智能化水平。

二、技术特点及先进性

（一）研究了付村煤矿通防隐患排查与治理一体化技术，探索了付村模式的通防管理、治理新理念，提高了通防系统的自动化、智能化水平。

针对付村煤矿通防系统运维管控现场亟待解决的突出问题，以“补齐基础硬件层、集成底部控制层、研究关键技术层、构建核心决策层”的研究思路，探索出了通防安全管理与治理智能化的付村模式，改变了其传统的人工或落后的机械设备运行方式，形成了“以智能通防设施为基础、以信息综合管控平台为核心、以智能通防队伍为保障”的隐患排查与治理一体化的先进管控理念，提高了通防系统的信息化、自动化和智能化水平。

（二）研创了付村煤矿通防参数监测传感器优化布置解决方案，配备了风速高精度测量装置，为矿井通防系统状态安全识别与风网实时解算提供数据基础。

本着“关键部位，全部监测；重点部位，有效监测；其他部位，选择监测”的原则，采用光纤风速监测装置，测量精度 0.1m/s，分辨率 0.01m/s，可实现采空区漏风、巷道顶板及两帮附近的低风速高精度测量，为整个通风参数的在线分析与异常辨识、预警与风网实时解算提供了数据基础。

（三）建立了风网参数实时解算模型，研究确定了付村煤矿通防系统异常判

定的指标参数和阈值，提出了通防参数按需调控与应急控制策略。

1.建立了矿井通风网络实时解算模型，提出了以风网各分支的风阻、主要通风机特性和监测监控系统风速（风量）、压差、温度、湿度、气压等传感器实时数据为基础，实现通风网络所有分支风向和风量的在线求解。

2.基于监测数据和风网实时解算数据，融合人工智能算法，提出了通风异常状态和模式的快速判断方法，实现了矿井通风状态的在线诊断与预警，并采用多级报警模式，报警分为现场-区域-全矿三级。

3.建立按需通风、应急通风控制决策层和井上/下联动设备执行层，构建矿井通风系统智能辅助决策模块，开发控风方案自动生成、智能控风指令分发、避灾路线快速生成等功能，实现矿井智能通风和应急调控。

（四）开发了付村煤矿矿井通防系统智能决策与灾害防控平台，形成了通防参数在线监测、超前预警与智能决策调控一体化技术体系，实现矿井通防系统运维管控的一张图、一个平台和一个数据中心。

1.集成了矿井安全监控系统（一通三防信息）、人员定位系统、主通风机监控系统、局部通风机监控系统、通风设施监控系统、井下束管监测系统、光纤测温系统和注浆系统等数据，统一数据接口，实现了通防系统多源异构信息的有机融合与通防系统管理的一张图，通风系统数据融合与分析如图 1 所示。



图 1 通风系统数据融合与分析

2.通风三维可视化子系统支持风网数据导入与导出、图形数据导入以及直接绘制等方式，动态生成矿井通风系统三维模型，支持巷道、通风设施和传感器数据更新维护，矿井三维可视化模型如图 2 所示。

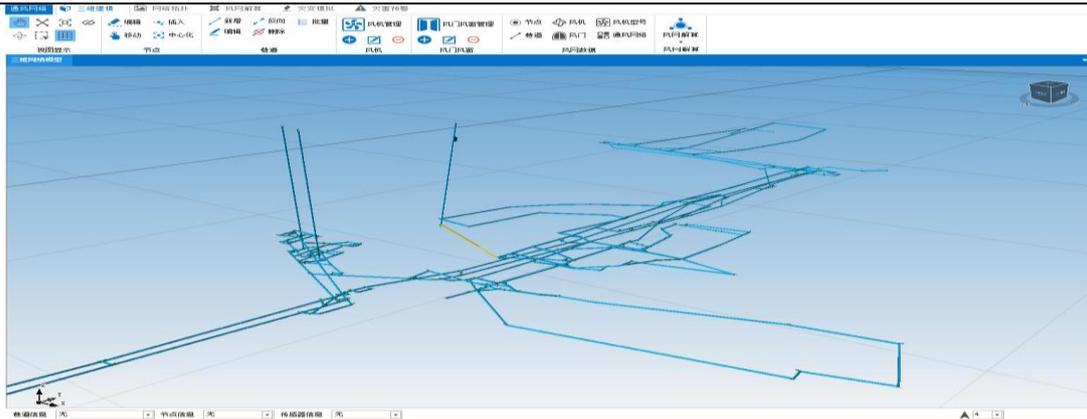


图 2 矿井三维可视化模型

3.实现通风网络实时解算、按需供风、故障诊断，完成通风系统优化和通风地理信息一体化管理，联合井下通风设施和应急装备，构建救灾避灾一体化控风方案预案库，实现了通防系统运维管控的一个平台，避灾路线模拟图和灾变控风方案自动生成分别如图 3 和图 4 所示。

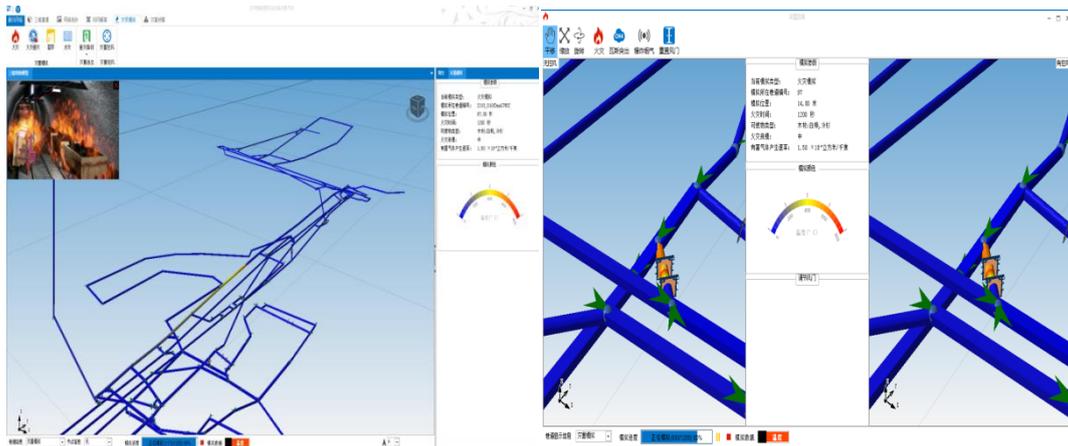


图 3 避灾路线模拟图

图 4 灾变控风方案自动生成

通过人员位置、视频、语音、设备和环境状态的信息融合，实现通防安全风险管控信息的互联互通，通过智能技术全周期和全方位的监测通防安全动态，形成集智能监测、预警、控制与决策一体化的数据处理中心，主通风机远控模块和局部通风机远控模块分别如图 5 和图 6 所示，安全监控监测模块和智能风门远控模块分别如图 7 和图 8 所示。



图 5 主通风机远控模块



图 6 局部通风机远控模块



图 7 安全监控监测模块



图 8 智能风门远控模块

三、智能化建设成效

（一）经济效益

实现矿井通风系统优化，合理调节阻力分布，以风机功率最小为目标设计了通风机工况优化调节算法，同时采用智能算法快速计算风量调控方案，高效调控通风设施，降低矿井通风能量损耗约 8%，按付村煤矿目前通防设备总功率和实时电费计算，可节约 128.4 万元/年，同时加大付村煤矿产能，提高矿井生产效益控制有害气体，达到经济、节能目标。

六个风速传感器安装点，可减少测风员对风量的手动测量；统一的通防信息平台实现矿井日常通风的自动化、智能化管理与维护，提高通风设施自动化控制水平，代替固定人员手动调控，搭配设备状态监测与故障智能诊断系统，智能巡检，实现通风系统的智能监测监控，达到自动化减人目标。预计可替代巡查维护人员 1 人，运行人员 2 人，测风员 2 人，预计节约资金 78.8 万元/年。

（二）社会效益

1.推动了煤矿矿井通防系统的智能化发展，引领我国煤矿通风与安全建设核心技术、硬件与平台研发。研发数据集成统一平台，实现通风参数在线监测分析、

通风网络三维可视化、实时解算与需风量计算，通防设备远程集控等。增强通防系统人机交互水平，集成加强对重要工作区域作业人员的管理，避免无关人员进入导致发生意外情况的危险和误操作的发生。

2.提高了煤矿通防系统防灾减灾能力，保障了我国煤炭事业的可持续发展。根据监测数据及时智能调控风量排出粉尘和有毒有害气体，保障井下工人健康和正常生产安全；灾变时期的应急控风能够有效抑制灾情演化，同时联合井下人员定位信息，提供智能化救灾指导，注浆站能够加快注浆流程，风门风窗能够实现远程自动开合，提高救灾避灾效率，切实提高煤矿矿井通风系统的智能化水平和安全可靠，最大限度地保障井下工人的生命安全，降低煤矿生产损失，达到安全、健康目标。

3.增强了煤矿通防系统自动化调控能力，优化了我国矿井工人作业环境，推动煤矿产业绿色经济化。系统从安全和节能的要求出发，采用 PLC 与现场设备组合而成的控制系统，对井下通防设施实时调控，达到“远程监测监控、人机控制结合、按需智能调控”的效果，从而使矿井实现远程自动调控、节能减排、按需供风、防灾减灾的功能。

案例 62 郭屯煤矿设备健康管理及故障诊断系统

主要完成单位：山东能源鲁西矿业有限公司

一、主要建设内容

（一）构建统一数据采集与存储平台

郭屯设备健康管理及故障预警系统通过统一的数据采集平台，将供电、提升、通风、压风、排水、运输等十大系统设备运转数据、以及加装在提升、排水、通风、压风、皮带、供水等设备上的振动、温振一体等传感器数据，进行采集汇聚，并通过高效的时序数据库进行存储，形成了郭屯煤矿统一的数据服务平台。

（二）设备健康管理及故障诊断平台核心业务

从设备机理、振动情况、工况情况、设备健康、重要参数分析、设备启停分析、专业诊断报告等多个维度进行全面设备数据监控，从而保障设备安全运行(图 1)。



图 1 设备健康管理及故障诊断平台

1.设备机理、振动模型

目前针对郭屯煤矿接入的供电、提升、通风、压风、排水、运输、辅助运输、制冷、供水、采掘等十大系统，包含 125 台设备，结合内外部多位设备专家的设备机理、振动知识与设备维护经验，共计建设近 700 个机理与振动模型(图 2)。

设备模型实时进行运算并监测接入数据的变化，通过触发机理、振动特性模型模型，及时推送设备预警信息给到设备检修和维护人员（图 3），报警信息中包含了设备异常现象、形成此类情况的原因以及针对该情况的处理措施，指导人员对设备异常或报警情况理解，让设备检修和维护人员提前预知设备的运行状况和潜在风险（图 4），合理安排设备巡视工作、设备检修任务、以及对设备运行时长合理调整。

序号	系统名称	子系统名称	设备名称	模型名称	模型状态	机理等级
21	压风系统	-	2#压风机	供气质量	未执行	正常 轻微报警
22	压风系统	-	2#压风机	一级(二级)螺栓非致...	执行	正常 轻微报警
23	压风系统	-	2#压风机	排气温度过高	执行	正常 轻微报警
24	压风系统	-	2#压风机	压力异常	执行	正常 轻微报警
25	压风系统	-	2#压风机	空久停车	执行	正常 轻微报警
26	压风系统	-	2#压风机	主机过载	执行	正常 轻微报警
27	压风系统	-	2#压风机	电机驱动端轴承故障	执行	正常 轻微报警
28	压风系统	-	2#压风机	油温故障	执行	正常 轻微报警
29	压风系统	-	2#压风机	电机非驱动端轴承故障	执行	正常 轻微报警

图 2 设备机理、振动模型



图 3 设备机理报警信息详情



图 4 人员报警处理与反馈

2. 设备健康管理

此外通过设备模型的运行，平台构建了设备的健康体系与评分规则，分为系统健康情况（图 5）、设备健康情况（图 6），动态的为系统以及设备进行健康评分（图 7），并展示出系统及设备健康得分与失分情况，让设备检修、维护人员重点关注失分项，让设备维护工作更有重心。同时也让设备管理者从宏观与微观上更好的为矿井设备的安全运行做好提前把控工作。



图 5 系统与设备健康概览



图 6 压风系统设备健康分值情况



图 7 设备健康评价得分情况

3.重要参数超限监视与报警

设备运行参数数量比较多，有些参数非常重要，针对此类参数，平台提供了统一的监视面板（图 8），能够实时监测参数的变化情况（图 9），并能够进行趋势分析。针对重要的参数可以设定参数超限报警的设定，一旦超限，推送出超限通知，提醒设备运行人员重点关注。



图 8 重要参数监视面板



图 9 重要参数报警设定、报警信息推送及反馈处理

4.组态孪生

为了更好地对系统与设备进行监控，平台进行组态孪生仿真绘制工作，目前共计绘制系统及设备仿真监视画面 80 余幅、全矿的网络通讯采集状态链路仿真 1 幅。通过仿真的孪生画面，实现了设备管理人员、维护人员以及检修人员的远程设备监控（图 10、图 11）。



图 10 提升系统仿真图



图 11 主提升机仿真图

5.运行报告

平台能够自动根据接入的设备数据，按照时间间隔要求进行运行报告的出具（图 12），从而减轻了设备运行人员的抄表的工作量，提升了工作效率，也避免了人员抄表引起的数据误差。

序号	时间	过程量测点							电机非驱动端垂直	
		2#空压机比功率 kW·min/m³	负载率100%	储气罐温度°C	运行电流A	排气压力MPa	排气温度°C	储气罐压力MPa	加速度总值	速度总值
1	最大值	8.92	0.88	43.1	20.0	0.66	95.2	0.59	6.12	2.53
2	最小值	7.56	0.85	41.3	19.4	0.58	90.8	0.52	4.96	2.27
3	平均值	8.29	0.87	42.1	19.8	0.62	92.5	0.56	5.32	2.38
4	2022-09-19 00:47:29	8.75	0.88	42.3	20.0	0.66	92.1	0.59	5.18	2.43
5	2022-09-19 02:47:29	8.80	0.88	41.3	20.0	0.65	91.3	0.59	6.12	2.53
6	2022-09-19 04:47:29	7.61	0.85	42.4	19.4	0.58	91.3	0.52	4.96	2.28
7	2022-09-19 06:47:31	7.56	0.87	42.0	19.8	0.61	90.8	0.54	5.15	2.35
8	2022-09-19 08:47:31	8.14	0.86	41.4	19.6	0.61	92.6	0.55	5.59	2.27
9	2022-09-19 10:47:31	8.92	0.87	42.2	19.9	0.63	94.4	0.57	5.20	2.32

图 12 设备运行报告

6. 振动图谱分析

平台提供了全面的振动分析工具，基于振动传感器形成的振动波形数据，帮助内外部专家能够进行全面的设备振动图谱的分析工作（图 13），更为精确的定位设备风险。

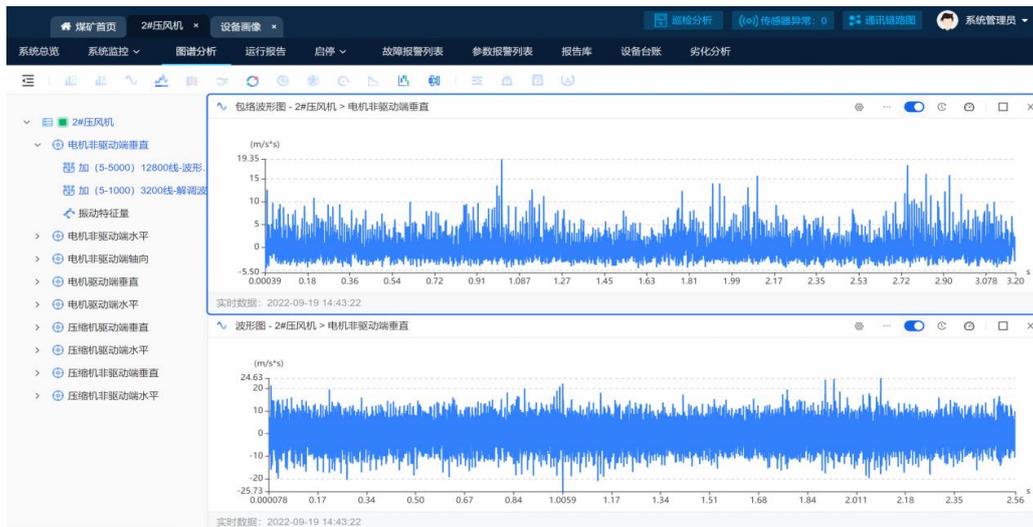


图 13 设备振动参数振动图谱

7. 诊断报告

平台实现了自诊断报告，通过设备机理、振动模型的报警，定期生成诊断（图 14），并推送给设备维护人员查阅，并提醒人员进行反馈处理。



图 14 平台自诊断报告

此外郭屯煤矿也与外部专家建立了良好的设备诊断生态，外部专家通过分析平台上设备的运行数据、振动波形，为设备出具专家报告（图 15），推送给设备维护人员并提醒人员反馈处理。



图 15 专家报告

8.设备启停分析

平台对设备的启停信息进行实时记录，并能够回溯设备启停的具体详情（图 16），更为直观的展示并分析设备运行效率。



图 16 设备启停分布

9.设备台账管理

目前设备健康管理平台与设备管理平台进行了打通，目前接入到平台的设备均可以通过接口查询到设备的具体信息（图 17），例如生产时间、安装时间、规格型号、重要参数等信息，为设备的故障预测精准提供了数据支撑，也极大的方便了设备管理人员对设备的管理维护。

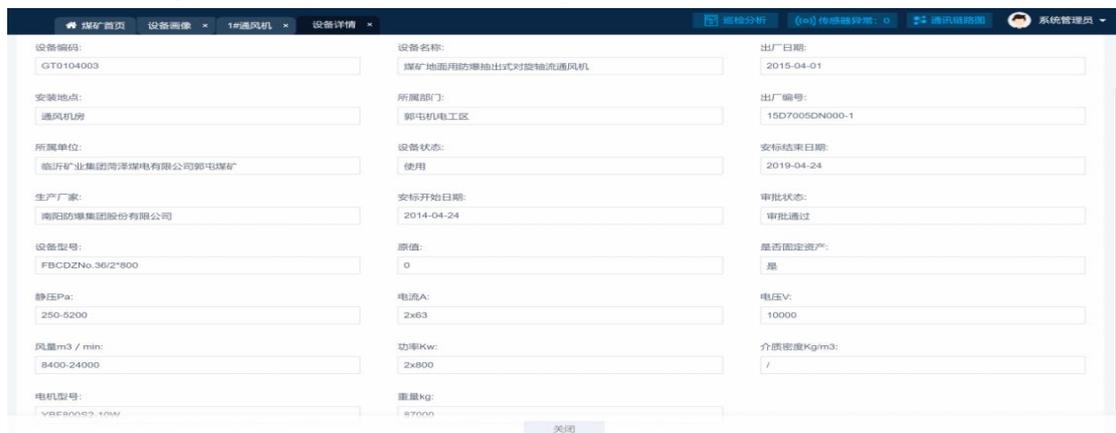


图 17 设备台账信息

10.移动端应用

设备健康管理平台配备了移动端应用，兼容安卓与 IOS 系统，通过移动端可以实现报警信息的推送、处理，仿真监视画面的查看等功能，极大的提升了用户使用平台的便捷性。

二、技术特点及先进性

（一）主要特性指标

指标项	指标值
注册用户数（PC 和移动）	不限制
支持的并发访问数（PC 和移动）	≥500
系统响应时间	100 用户并发下，系统响应时间小于 3 秒
实时数据标签点时间存储精度	1 毫秒
时序数据库读写效率（接口调用）	10 万条记录读写的响应时间≤5 秒
界面显示的画面数量	不限制
支持的组态图形数量	不限制
支持的动态点数	不限制
设备故障分析 AI 模型重建误差 R2 值	≥0.9
移动 APP 兼容性	兼容 Android 与 IOS 等主流移动操作系统

（二）先进性与个性化

朗坤的工业互联网技术平台拥有较强的先进性和应用个性化定制能力。

1. 在平台的先进性方面

（1）朗坤工业互联网技术平台在技术架构上采用了当下最先进的互联网技术架构，通过“大平台、轻应用”的模式，采用微服务架构、容器化部署的模式，有效支撑了临矿集团设备健康管理及故障诊断系统的建设。同时，通过融合物联网、大数据、人工智能等当下最新的技术，保障了系统的技术先进性。

（2）朗坤工业互联网技术平台针对设备健康管理和故障诊断提供了大数据建模和机理建模相融合的方式，真正解决了设备故障的提前预警和故障类别的诊断，并确保模型预测的准确性。

（3）时序数据库作为整个系统建设的核心基础组件，朗坤拥有自主研发的时序数据库产品 TrendDB，在并发吞吐量、时间处理精度、数据存储压缩比等性能指标方面均居行业领先地位。

2. 在平台的个性化方面

基于朗坤工业互联网技术平台实现的应用系统都是基于统一的技术标准、规范的，业务应用支持可配置、可管理。例如业务系统的组织架构、角色权限、编码规则等都支持自定义。朗坤工业互联网技术平台内置了大量的标准化 API 接口，能够方便快捷与其他系统进行无缝连接。

（二）容错性与兼容性

朗坤的工业互联网技术平台拥有良好的容错性和兼容性。

1.平台采用 B/S 架构的模式，同时具有跨平台的特性，对客户端的环境要求小。

2.平台系统针对用户的操作步骤，提供了日志查询功能，拥有较强的容错性，不会因为不规范操作导致系统崩溃。

3.平台提供了功能强大的系统管理工具，在系统投运之后，可以很方便对系统的流程、模型、规则进行修改和调整，而不需要涉及软件的内核。

4.平台针对移动应用的开发支持 H5 的轻应用，具备与临矿集团已有的移动门户进行无缝对接条件。

（三）完善的安全性

朗坤工业互联网技术平台为设备健康管理及故障诊断系统提供了完善的安全保障，建立矿井侧设备采集到集团侧的应用的安全体系。

1.设备采集端的安全保障机制

为保障每个矿井设备接入的安全，边缘终端设备必须利用可信任的私钥身份验证进行数据的发送和接收。该密钥为唯一认证的身份标识。未经认证的设备所发出的请求将不被接收执行，可以避免非法攻击者通过截获报文获取合法地址建立会话，实现终端设备到网关的可信接入。

2.设备采集数据传输的安全性

采集数据在传输的过程中均通过数据压缩和加密处理，确保数据传输的高效和安全。同时，平台在边缘网关中支持边缘计算的功能，原始的采集数据可以通过二次计算或处理后，将运算结果传至平台。

3.平台安全认证保障数据访问的安全性

朗坤工业互联网技术平台可独立进行安全认证，并对用户设定的密码复杂度和密码的强制修改周期进行控制，同时也支持单点登录的方式进行用户认证。平台支持通过参数来控制用户登录时输入用户名或者密码错误多少次即锁定用户账户，可防止访问的暴力破解。

此外，平台可通过登录超时参数来配置账户的登录超时时间，防止意外泄密事件。平台还可以控制相同的账号不允许重复登录，并对重复登录的账号进行提醒。

4.基于角色的多维度权限控制保障访问安全性

设备健康管理及故障诊断系统基于成熟的 RBAC 模型进行权限控制，提供了多个维度的权限控制，包括：系统级权限控制、菜单级权限控制、程序级权限控制、操作级权限控制、数据级权限控制。

5.数据加密技术保障数据的安全性

设备健康管理及故障诊断系统根据各类业务数据的敏感级别进行数据的分级加密控制，例如对于用户密码、系统密码等数据采用 MD5 数据加密技术进行数据加密，对于核心的业务数据采用 AES 数据加密技术进行数据加密。

6.全面、实时的日志审计

朗坤工业互联网技术平台实时记录了用户访问系统的情况，用户在系统中对业务记录进行的各项操作明细，系统各模块的业务数据信息。可以查询并导出各个角色所拥有的系统权限、业务权限、流程权限和操作权限，临矿集团可以实时了解系统运行、应用情况，对系统进行全面安全审计，保证系统安全、可靠运行。

7.多终端的安全控制

朗坤工业互联网技术平台除了对 PC 终端进行安全控制之外，还对移动终端进行安全控制，可实现用户账号和移动终端唯一认证序列进行绑定，并支持一个账号绑定多个移动终端，在用户丢失移动终端时可以快速的进行挂失，并阻止丢失的移动终端对系统的访问，同时发送指令销毁移动终端缓存的加密数据。

三、系统建设成效

1.整体效益

设备健康管理及故障诊断系统是站在设备全生命周期整体的角度，真正做到了状态感知网络化，故障诊断智能化，专业资源共享化，设备管理协同化。

同时，数据是设备管理的核心资产，一体化管理系统是积累有效数据的重要支撑。通过设备健康管理及故障诊断系统，消除了煤矿各层级信息孤岛，实现业

务和信息、数据高度统一，使企业内外部专家资源协同达到高水平，最大程度夯实管理，充分发挥数据资产与专家资源的智能化专业价值。

2.安全价值

设备健康管理与故障诊断系统的建设，构建了设备安全保障体系。通过智能化技术手段，提升了现场生产设备的可靠性，从而降低和避免现场设备故障导致的事故风险，减少企业人员生命财产损失。

3.经济价值

设备健康管理与故障诊断系统实时监测设备运行状态、掌握设备健康状况，通过系统可以制定科学合理的维护保养计划，解决设备检修不足和检修过剩的问题，延长设备使用寿命，将计划维修与故障维修模式逐步向状态维修、优化维修模式转变，一方面为主要机房硐室“锁门工程”的实施提供技术保障，实现现场无人值守或少人值守，减少人员成本，另一方面，提高设备安全可靠，降低非计划停产损失，节约维修费用。

4.管理价值

设备健康管理与故障诊断系统建立了郭屯煤矿设备健康管理体系。通过先进的大数据分析手段，实现设备的状态监测、设备故障诊断、工况寻优及相同工况关联分析等工艺技术的深度应用，积累关键设备的案例库、故障库、模型算法、特征库、维护库，加速知识库与专业数据积累，提高专业人才培养能力。

5.社会价值

设备健康管理与故障诊断系统一直以来是煤炭行业面临的重要课题与技术难点，国内煤炭行业相关研究机构、高等院校、煤矿企业都在不断研究和探索。郭屯设备健康管理与故障诊断系统的成功实践，为加强和改进这一领域的管理，提供新的研究思路和研究方向。同时，本系统平台为山能集团乃至整个煤炭行业的设备健康管理与故障诊断积累宝贵的数据样本、分析模型、故障案例、诊断知识库，为产业可持续技术升级提供指引作用。

案例 63 东滩煤矿智能通风系统

主要完成单位：山东能源兖矿能源集团股份有限公司

一、主要建设内容

（一）主要通风机

西、北风井主要通风机安装自动压紧装置及辅助导向装置安装，实现了一键反风、自动复位功能，风硐内安装了 12 组风量传感器，采用 PID 闭环控制技术，实现了西、北风井风量动态调节功能。矿井主要通风机运行状态、通风参数实现远程监控，主通风机房、控制室安设了视频图像监视摄像头。2021 年 12 月 25 日，使用智能通风管控平台远程一键反风、倒机，整个倒机过程平稳顺滑，将原主扇通风机倒机时间由现在的五分钟以上甚至十分钟，缩短到三分钟左右甚至更短。

（二）变频局部通风机

1. 矿井在用局部通风机均实现了“双风机双电源”自动切换，根据智能化矿井建设要求，实现局部通风机主要参数监测及远程开停控制、主备风机自动切换及远程切换等功能。

2. 变频局部通风机的监测与控制采用智能化通风控制器控制系统。实现通风机的“一键式启动”、“故障风机自动化切换”、“一键式自动反风”等功能。控制器与计算机通讯，计算机上采用专用的智能化通风控制软件，可以完成可实现三种控制功能：手动控制、自动控制和就地（检修）控制。

3. 监测参数包括两台风机的风量、负压、全压、风机效率、轴温、振动、电机温度、电流、功率、甲烷、一氧化碳浓度、风机开停信号、高压开关柜的投切信号及正反风信号等，并根据运行情况可实时输出各种特性曲线。所有风机及其辅助设施的运行监测信号报警值和断电值及各保护的投切可从微机上设置。

4. 变频局部通风机可根据作业现场供风距离、瓦斯浓度、迎头风量的变化情况动态调控风机频率，不必经常更换局部通风机，减少倒换风机的时间、费用和

劳动,更为重要的是可以全面解决普通风机全负荷恒定转速运转而造成的电能浪费问题,具有低噪音、节能降耗的特点。

（三）智能通风设施

1.井下共计建设了 10 组智能风门,其中通车风门 3 组、控风关键节点风门 4 组、反风风门 3 组。

2.实现了动态感知、自动开关功能,防夹人、防撞人、防撞车风门、风窗角度地面远程控制,风量异常、风门碰撞等异常情况下地面自动报警,实现自动报警、远程操作和调试。装备了高性能防爆锂电池,停电时可续航 5 天,功能保护可靠、功能齐全。

（四）精准测风装置

1.井下共计安装 24 组超声波感应式精准测风装置,主要进回风巷 12 组,采煤工作面 6 组,掘进工作面 6 组,实现了对井下主要用风地点风量的实时在线监测。

2.超声波传感器,采用对射方式布置,超声波在巷道中传播的速度可以和风速函数对应,通过计算即可得到精确的风速,经设定的巷道断面计算巷道风量、风速,传感器启动风速由 0.3 m/s 降低至 0.1m/s。

3.风筒风量传感器,采用对射方式布置,超声波在巷道中传播的速度可以和风速函数对应,通过计算即可得到精确的风速,经设定的巷道断面计算巷道风量。

（五）智能通风管控平台

1.智能通风管控平台基于矿井通防数字孪生技术建设,通过对全矿井精准阻力测定,依托通防数字空间基础建模,实现了安全监测多系统融合、通防设施智能化控制、通风辅助决策等功能。

2.基于精准的地质和测量数据,建立了矿井三维模型,通过 2 个月的精准阻力测定和平差计算,采集了准确的通风数据,建立了完备的通防数字空间模型。

二、技术特点及先进性

东滩煤矿智能通风系统所使用的设备及平台均为国产自主研发,技术为其各公司独有技术,性能优越,目前整体处于国内领先水平。具体体现为:

1.具有矿井主通风机不停风自动倒机、“一键式”操作倒机和自动识别运行通风机故障的自动倒机功能。实现通风机的快速切换，故障状态下的倒机时间缩短，将原主扇通风机倒机时间由原来 5~10 分钟，缩短到不超过 3 分钟。

2.可根据不同的送风距离和需风量，实时调节变频器频率，改变风机转速，调节风量，达到按需供风。利用变频调节，实现非满负荷状态工作，减少损耗，节能效率能达到 30%。降噪、消声效果明显。

3.智能通风设施控制模式齐全，风门及调节风门均具有就地手动控制、就地自动控制、地面远程遥控等控制功能，就地模式可配司机用遥控器；风门控制功能方面，通过调节开启角度，控制巷道风量大小，解决通风系统中的调风配风连续调节及远程调节难题，可接入巷道风速传感器实现巷道风量 PID 自动调节；风门安全方面，具备前后风门之间电气及机械安全闭锁、应急解锁等功能，具备风门附近有人时闭锁风门操作功能，具有安全提示语音报警功能。

4.精准测风装置实现巷道风速、风量、巷道截面积等通风参数实时精确测量，采用超高精度静压传感器（误差 ± 30 帕）和温湿度一体智能传感器，实现对巷道始、末端大气静压的实时精确测量，对巷道通风阻力的实时监测计算，正确完成巷道中风量的测量，满足矿井智能化通风建设的要求，提高井下作业安全性。

5.智能通风管控平台功能强大。

（1）风网解算

基于精准阻力测定和通防数字空间建模，利用独有的收敛性算法，实现了通风系统的可靠解算。

（2）火灾预警及处置

根据安全监测系统，在线监测井下火灾参数，对发火预兆和自燃状态实时预测预警，自动生成灾变时期的避灾路线。

（3）监测数据深度分析

智能通风平台分析计算瓦斯涌出量、粉尘时间加权平均浓度，各巷道分布显示并实现实时预测、预警。

（4）三维可视化

以通防数字空间建模为基础，通过实时绘制和渲染技术，搭建通防三维场景。

（5）资料辅助化管理

自动生成配风计划、测风报表、通风网络图、通风立体图、通风压能图、密闭台账等。

三、智能化建设成效

1.通过智能通风建设，实现了通风系统状态的实时分析、优化，使矿井通风系统更加稳定、安全、可靠，矿井安全得到了充分保障。

2.随着智能通风平台稳定性、准确性的提升及计算功能的优化，为将来减少瓦斯检查员、测风员、巡查维护人员，实现减人提效提供了支持和保障。

3.利用智能通风平台提供的各种计算、分析和优化功能，保障主要通风机处于最合理工况运行，变频局部通风机智能调频、按需供风，节能降耗效果明显。

4.智能通风平台在精准阻力测定的基础上，利用通防数字空间建模实现了风网动态解算、数据纠偏、在线演算控风方案，是智能通风建设的重大突破。

5.实现了多系统融合数据的可视化展现，各类数据实时共享、综合联动分析，为通防技术人员进行综合分析及决策提供了有力依据。

6.实现了灾变情况下避灾路线的动态展现、发火状态监测分析与管理，为制定应急救援方案提供辅助决策支持，提高了灾变时期的应急处置能力。

案例 64 小庄煤矿复杂地质条件下 5G+安全管控系统

主要完成单位：陕西彬长小庄矿业有限公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

作为陕西省政府批复的首批两个 5G 通信技术在矿井智能化验证基地之一的彬长集团小庄矿业，结合黄陇侏罗纪煤田彬长矿区的复杂地质条件下煤层复杂赋存条件和生产装备实际，按照陕西煤业“企业管理智慧化、煤炭开采智能化、辅助系统自动化、灾害治理精准化、现场管理透明化”总体工作部署，小庄矿业先期开展了 5G 通信技术与矿井智能化技术结合的预研与探索，2021 年为进一步落实省政府和陕西煤业在矿山领域开展 5G 通信技术试点验证的工作安排，面向彬长矿区多元灾害叠加实际情况，探索“智慧生产、智慧安全、智慧保障”与 5G 先进通信技术的深度融合，实现“空间数字化、信息集成化、设备互联化、虚实一体化、控制网络化”的智能矿井的建设目标。

小庄矿业抱着“物有甘苦、尝之者识；道有夷险、履之者知”的勇气，践行 5G 通信、人工智能、大数据、云计算等先进技术在的煤矿智能化的原创性引领性攻关，围绕 5G 通信技术在矿井生产封闭环境中的适应性、可靠性、稳定性难点，井下 5G 独立组网（Stand Alone，SA）条件下工业视频数据传输延迟大，复杂地质条件下各类安全监测传感无线化和全范围连接难，以及各类煤矿智能化系统间直观管控与实时同步难等问题。在掘进工作面和综放工作面建成了基于 5G 独立网络，小庄矿探索超低延迟环境下 5G 高清工业视频传输，4D-GIS 致灾气体、地压应力、水文地质等灾害全面感知与分级预警，以及工作面生产、设备、安全、环境和人员融合的 L3 级“以虚预实”的数字孪生等原创性应用技术攻关。最终，项目圆满完成了陕西省政府要求的 5G 通信技术在矿井智能化验证工作，并荣获国家级煤矿“5G+工业互联网”安全生产解决方案试点示范，夯实了小庄

矿以“创变、引领、本安”的企业文化宗旨，为彬长集团的智能化建设和陕西煤业智能化发展积累了经验。

（二）主要内容

小庄矿业的复杂地质条件下“5G+智慧矿区”建设项目，验证5G通信技术在复杂地质条件下的验证和应用，主要内容包含：基于5G-SA独立组网模式的网络建设，以及在复杂条件下多应用场景AI高清视频分析、灾害全面感知与监测、数字孪生工作面生产执行应用等。通过“1+3+1+N”模式：即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，健全了标准化智慧矿区生产、运营、维护和管理标准模式。

1.5G独立组网模式的网络建设

利用5G-SA无线网络“覆盖广、低时延、低功耗”功能提升小庄矿业信息基础设施水平，建设800MHz、1.8GHz、2.1GHz、2.6GHz、3.5GHz的网络基础设施。通过将核心网下沉到矿井侧、独立部署边缘侧MEC和UPF、1588v2协议的铯原子钟，实现各个应用场景20ms交互和20ns授时精度，在矿井生产网络边缘端有效提供了IT和云计算能力，最终切实达到了高带宽、低延迟效果。项目为多源灾害环境下安全治理和生产保障提供了高清AI识别、设备管理、气体、地质、矿压、水文和应急信息的实时传输，并验证了5G-SA网络系统适应性、可靠性、稳定性，矿用5G系统架构如图1所示。

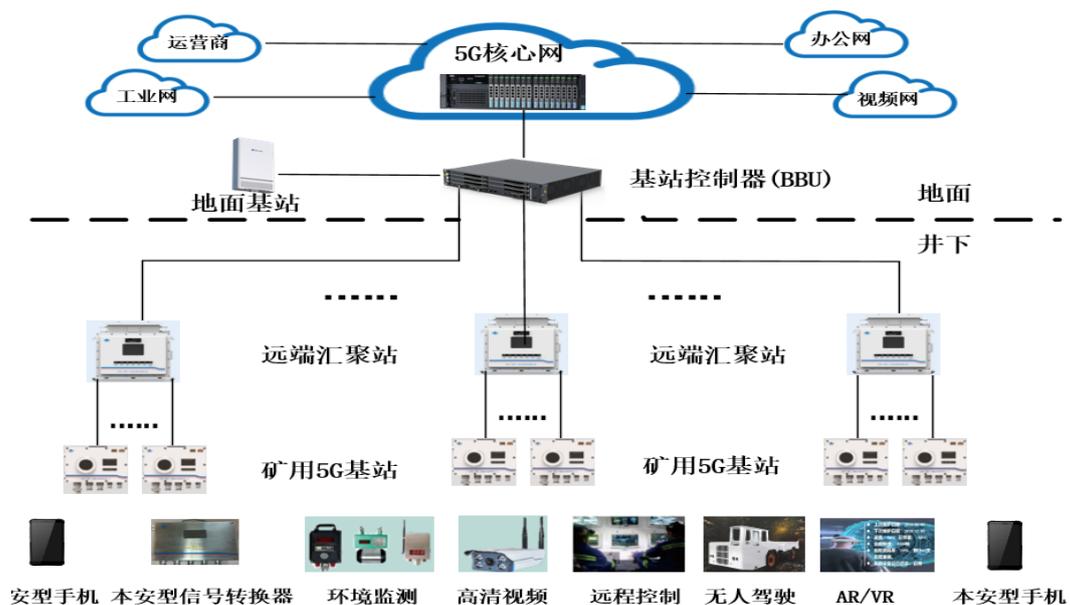


图 1 矿用 5G 系统架构

2. 多应用场景下 AI 高清视频分析

5G-SA 通信技术通过 480M 下载带宽和 600M 上载带宽的优势，解决了基于 4G100M 带宽仅支持 5~10 个摄像头的的能力不足。同时，首次将综放工作面基于可见光和红外高清摄像头引入 5G-SA 通信技术方式接入通信网络，解决采掘工作面移动设备的撤布线困难和线缆易松脱问题。小庄矿业通过现场智能化采掘图像分析可实现工作面 24h 全方位、无死角实时监控，实现工作面生产状态、合规操作、异常报警等智能分析，如转载机堆煤、煤层温度异常等生产安全 AI 识别，验证了井下生产图像数据的实时传输和智能分析和动态呈现的适应性、可靠性、稳定性，低延时 5G-SA 独立组网 AI 视频传输如图 2 所示。



图 2 低延时 5G-SA 独立组网 AI 视频传输

3. 灾害全面感知与监测安全监测

利用 5G-IoT 窄带通信技术和有线网络通信技术，实时采集及传输矿井气体、通风、矿压、地质、水文等监测数据，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、水文感知，打通了 4D-GIS 灾害全面感知与监测（图 3），解决当前各系统孤立、信息隔绝，无法协同分析生产状态、地质环境和水位信息的潜在安全风险和隐患问题，实现多源异构、复杂灾害信息在不同采样密度的实时采样、分布存储和安全分析。探索复杂地质条

件下各类系统数据孤立，有线传感网络线缆多，巡检搬运和搬家倒面工作量大等问题解决路径。

4.数字孪生工作面生产执行应用

小庄矿业 40205 数字孪生采煤工作面生产执行系统探索了数字化矿井“环境—装备—工艺”间基于 L3 级的实时交互，基于 4D-GIS 的采煤工作面的物理、虚拟、环境、图像、知识和服务的动态呈现，以及基于 5G-SA 无线采集和孪生融合，形成物理体数据、虚拟体数据的虚实同步和各类能量信息间的动态交互，建立 L3 级物理模型和数字模型动态映射，实时反映采煤工作面设备的实时运行状况、实时性能、环境参数、突发扰动等动态过程的感知、控制和预测。



图3 灾害全面感知与监测智能监测

（三）主要经验

作为省政府为探索 5G 通信技术在于煤炭生产的深度结合的试点矿井之一，以及国家“5G+工业互联网”应用技术示范（图 4），2021 年 7 月小庄矿业的“5G+智慧矿区”项目开始建设，2021 年 9 月底顺利通过陕西省工信厅验收，成为陕西省“5G+工业互联网”标杆矿井。2022 年 1 月小庄矿业的面向国家矿山能源多源灾害环境的工业互联网—安全生产解决方案入选成为国家“5G+工业互联网”试点示范，总结经验为坚定“产学研用”联合创新模式，坚决采用科学项目管理方法。

1.“产学研用”联合创新模式

小庄矿业联合中国电信、华云智联、西北工业大学等组成的“产学研用”联合攻关团队，结合华为的 5G 交换和存储技术、中国电信的 5G 集成和调试技术、海康威视的视频图像和处理技术、西北工业大学 AI 识别与分析技术、华云智联数字孪生和智能控制技术，联合研究出多项国际国内创新技术和科研成果。获得发明专利 5 项，申报省级标准 2 项、发表学术论文 7 篇，取得软著 4 项。

2. 坚决采用科学项目管理方法

项目 2021 年 7 月开始建设，2021 年 9 月底通过验收，历经 2 个月顺利完工，包括即 1 个“5G+智慧矿区”网络设施平台、3 个系统、1 套标准模式、N 个智能化应用。项目建设全程通过标准化项目管理，人员安排和进度管控快速打造全矿山、全流程、全工艺的智能化建设样板，为占全国 3/4 的复杂地质条件矿井建设绿色、安全、高效、智能的现代化矿山提供切实可行的管理依据和建设经验。

二、技术特点及先进性

围绕 5G 通信技术在矿井生产封闭环境中的适应性、可靠性、稳定性难点，井下 5G 独立组网（Stand Alone, SA）条件下工业视频数据传输延迟大，复杂地质条件下各类安全监测传感无线化和全范围连接难，以及各类煤矿智能化系统间直观管控与实时同步难等问题。在掘进工作面和综放工作面建立基于 5G 独立网络，小庄矿探索超低延迟环境下 5G 高清工业视频传输，4D-GIS 致灾气体、地压应力、水文地质等灾害全面感知与分级预警，工作面生产、设备、安全、环境和人员的 L3 级“以虚预实”的数字孪生等原创性应用技术攻关。

（一）技术特点

1. 基于 5G SA 宽带通信技术的工业视频，实时监控安全生产各类风险隐患，并通过实时微区域安全分析技术的水、火、瓦斯动态智能逃生路线设计，为一线人员提供可靠的避灾指引。

2. 基于 5G-IoT 窄带技术，在彬长矿区复杂地质灾害条件下，在虚拟巷道中获取 20 余类致灾气体的实时浓度，通过智能分级预警规则，实现井下不同区域的风险隐患多级预警；通过点选切换，更实现了待巡检设备间的灵活跳转，最终巡检（维护）报告的一键生成，极大简化了工作量。虚拟巡检全过程中感知数据

和设备状态等随路线逐一展现，实现了风险隐患的一目了然。

3.沿着数字孪生矿井巡检路线，通过带式输送机上皮带秤获取实时产量信息，以及设备全生命周期的故障模式和影响分析（FMEA）智能模型，对 120 类故障和 1000 余种零件状态进行 360°无死角监测，让设备更可靠。

（二）技术先进性

1.国内首次基于 5G-SA 通信技术的高清视频采集、AI 图像识别，以及 5G 物联网安全监控传感器在矿井采掘工作面联合应用。基于 4D-GIS，结合 5G 矿用本安可见光高清摄像头和红外热成像摄像头，构建井下云-边-端协同的多场景无线视频监控网络系统+AI 智能识别监控与告警系统。

2.国内首次基于 5G-SA 通信技术，实现煤矿感知的全连接。并实现多源异构，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。

3.国内首次利用虚拟现实技术创造工作面三维的采煤环境，模拟采煤机截割作业过程以及设备实时运行，同时融合了视频监控、安全感知等。充分利用装备物理模型、传感器感知、运行状态等数据，集成多物理量、多时空尺度仿真过程，从而反映工作面装备的、生产和工艺全生命周期过程。

在设计和施工过程中，该项目形成了全部中国芯、数据灾害全面感知与监测、生产全孪生、安全全覆盖、运营全管控的“1 中+4 全”的小庄模式，多项技术在国内煤矿智能化建设领域实现新突破。该项目的建成进一步促进了 5G 与煤矿智能化建设的深度融合，推动彬长矿业奋力建设行业内具有示范引领作用、灾害治理与智能化高度融合的智慧矿区迈上“快车道”，也为 2022 年小庄矿业建成国家 II 类高级智能化矿井奠定了坚实基础。

三、智能化建设成效

该项目的实施有效降低了煤炭生产成本，提升了吨煤生产效率，智能化采煤工作面 2021 年人均工效较 2020 年同期增长了 7.8%。基于 5G 通信技术的数字

化场景、可视化管理、装备安全预测性维护等可以不断优化煤炭生产作业流程，减人提效，持续降低企业的生产成本、管理费用和运营成本。

该项目的建成进一步促进了 5G 通信技术、灾害治理与煤矿智能化建设的深度融合，推动彬长集团小庄矿业奋力建设行业内具有示范引领作用、灾害治理与智能化深度融合的智慧矿区迈上“快车道”，也为 2022 年小庄矿业建成国家 II 类高级智能化矿井奠定了坚实基础。

小庄矿业作为国家级“5G+工业互联网”安全综合试点示范基地，夯实了小庄矿业以“创变、引领、本安”的企业文化宗旨，并为彬长集团的智能化建设和陕西煤业智能化发展积累经验。煤矿采掘自动化智能算法的应用和实现提高工业网自动化设备应用的普及率，提高煤矿开采量，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。同时也培养了一批在 5G 智慧矿区建设方面具有先进经验的现场技术及管理人员。

案例 65 黄陵一矿综采智能安全管控系统

主要完成单位：陕西陕煤黄陵矿业有限公司

一、主要建设内容

黄陵一号煤矿综采智能安全管控，可对井下综采工作面 13 个重点区域进行全面监测，可实现 39 项场景功能。主要建设内容包括如下：

1. 构建现代化风险防控管理体系

基于安全管理业务知识梳理，通过采用现代化 AI、大数据、物联网等技术手段实现感知煤矿人员、设备、环境等动态信息，结合煤矿安全管理制度，对煤矿安全综采工作面的风险进行整体动态评估与控制，构建统一标准的风险防控管理体系，实现“动态感知-实时预警-联动闭锁-事后优化”的闭环管理系统。如三机运行时，人员违规跨越电缆线槽，系统可划定危险区域，同时通过对人员不安全行为的识别，产生二级预警，先产生报警做以警示，如不能立即制止，便联动设备进行停机，保障人员生命安全。

2. 扩展 AI 感知范围，构建“透明矿井”

在风险防控体系建立的基础上，构建人机协同、自演进的 AI 知识引擎，对矿井全业务流程、人员作业行为、设备运行状况、环境状态进行感知、实现对关键风险的智能感知、决策自动推荐、设备自动联动、风险联动处置，形成“透明矿井”。

3. 提升多维度分析管理能力

对人“作业环境、生产工具、作业过程”的问题进行多维分析，洞察安全管理中存在的不足，构建安全视角的人员能力画像，识别薄弱环节，推动企业全面、及时调整培训策略和帮教流程，提高企业安全管理能力。如：在综采工作面采煤机检修作业流程中，需通过作业环境及设备的开启状态及人员的不安全行为等多维度进行判定，在未断电情况下进行检修作业，系统会进行告警甚至联动设备停机，确保人员生命安全。

4.建立云端 AI 模型库，全面监测井下安全

针对综采工作面不同场景需求，研发相对应的 AI 模型，在云端可具备自动更新、自行训练、脚本标注等功能使其满足业务需求。在系统建设过程中，我们积累了许多工作经验，对于模型识别率要根据井下环境不断完善提升；对于各类风险点要在试运行阶段要不断发掘并关联系统；对于系统整体业务功能要持续优化完善。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1.基于知识图谱+人工智能技术，实现智能安全闭环管控体系：知识库是基础，人工智能技术是手段，将安全知识内容、安全知识图谱、以及相应的安全知识场景作为先验知识，构建整个系统的“大脑”，用来对感知层传递过来的数据进行综合的分析、预测。

2.AI+煤矿岗位标准作业管理，赋能“上标准岗，干标准活”：依托知识图谱+人工智能技术的安全智能管控体系，将基于计算机视觉的 AI 识别能力与岗位作业标准化流程相结合，以支撑标准作业流程的管理与应用为目标，提供 Web 应用、移动终端应用，满足一线员工学习、提高员工技术素能，提高安全作业保障程度和工作质量，从而整体提升企业的生产管控水平。

（二）适用范围

综采工作面识别报警内容包括但不限于以下情形：

（1）采煤机检修作业前，未断电、意外送电；（2）刮板输送机运行时，出现大块煤矸、警戒线（电子围栏）内人员进入；（3）采煤机割煤时，端头三角区域警戒线（电子围栏）内人员进入；（4）端头煤壁处人员作业时，刮板输送机未断电闭锁；（5）超前支架移架时，超前支架警戒线（电子围栏）内人员进入；（6）带式输送机运行时，机头/机尾警戒线（电子围栏）内人员进入、溜煤眼处堆煤；未断电闭锁、人员违规跨越；卷带装置警戒线（电子围栏）内人员作业时，带式输送机未断电闭锁；（7）转载机运行时，转载机警戒线（电子围栏）内人员进入、未断电；（8）泵站开关检修作业前，上级电源断电闭锁后，未悬挂警示牌；（9）

泵站开关检修作业时，打开防爆接线腔端盖后，未进行验电、放电；（10）集控室操作台堆放钥匙、安全帽、文件夹等异物、人员睡岗/脱岗；（11）拉移设备列车时，设备列车警戒线（电子围栏）内人员进入、作业标准化流程指引；（12）作业人员未戴安全帽。

三、智能化建设成效

黄陵矿业公司风险防控与人工智能预警系统项目自 2020 年 6 月正式实施以来，在黄陵矿业领导及专业技术人员的大力支持下，系统已经在黄陵矿业得到了全面应用，改变了煤矿现有的安全管理模式，提高了矿山的智能化管理水平。应用效果具体体现在以下几点：

1.通过 AI 代替人工，不仅实现了对危险环境、安全管理盲区的 24 小时全时监管，同时还实现了“少人则安、无人则安”。自系统运行以来，不安全行为、不按标准作业的行为每月平均下降 8.6%，隐患发生数量每月平均下降 10.3%，杜绝了同一人在一个月内发生 2 次及以上不安全行为的情况，消除了重复隐患的发生，安全管理实现从被动治理隐患向主动管控风险、从监督约束向自主防范转变。

2.基于风险防控与人工智能预警系统建设，形成“3344”模式，实现了生产管理过程中安全管理问题的感知、预警、追溯、管理，构建了纵向“感知-预警-处置-分析”安全管控需求，横向事前防范、事中控制、事后总结的立体化安全管理体系，为优化企业安全生产管理过程提供技术支撑。

案例 66 砚北煤矿冲击地压多参量综合预警云平台

主要完成单位：甘肃华亭煤电股份有限公司

一、主要建设内容

砚北煤矿位于甘肃省平凉华亭市境内，是中国华能-华亭煤业集团有限责任公司的主力生产矿井，生产能力 480 万吨/年，为冲击地压矿井。按照总体规划、分步实施、因地制宜、效益优先的建设思路，砚北煤矿新建改造 40 个系统，逐步建成“一平台、三中心、36 个子系统”的具有冲击地压特色的智能化煤矿。针对冲击地压灾害对矿井安全生产的威胁，砚北煤矿长期注重冲击地压灾害的研究与防治，经过多次迭代，在 SOS 微震、ARES 地音、煤岩应力在线监测等冲击地压监测系统的基础上建成新一代冲击地压多参量综合预警云平台，实现了对井下冲击危险区域的综合监测预警，提升了冲击地压预警水平，促进了矿井冲击地压防治理论和实践总结与改进，使能及时采取冲击地压防治措施，达到冲击零事故，有效避免冲击地压灾害带来的人员伤害，保证了煤矿生产的安全运营，使产能稳步提升，为产业协同、煤炭保供起到了重大支撑作用。冲击地压多参量综合预警准确性达到 80%以上，达到国内领先水平，云平台功能如下：

1. 多终端访问，多形式预警

平台（图 1）支持智能手机、平板、笔记本、台式机等多形式终端访问。提供多形式预警：手机 APP、WEB 浏览器网页、预警卡片、自动语音报警、大震动闪烁、“一张图”显示、无弱中强（ABCD）分级预警等。基于云平台数据处理技术，可实现异地访问、数据信息查询、预警提示，大幅提高监管效率。

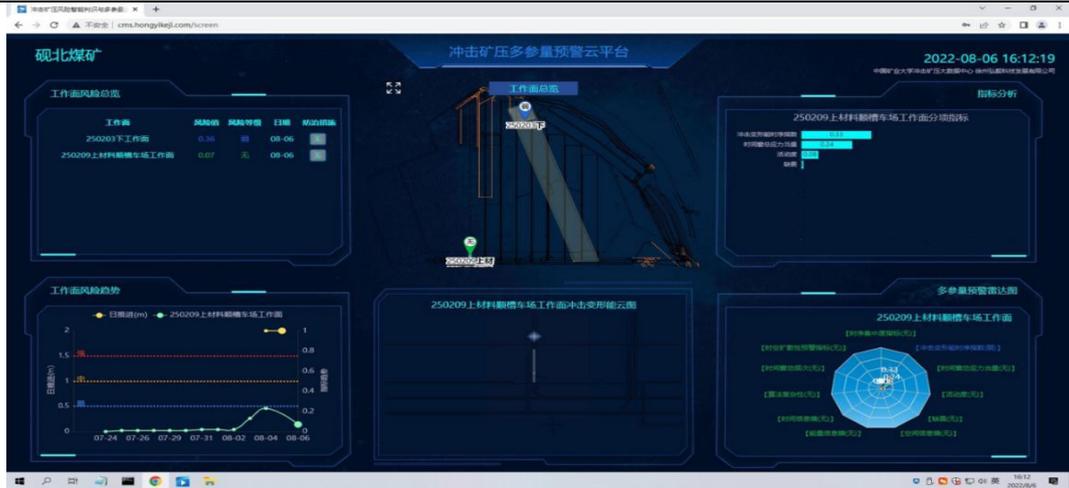


图 1 冲击地压多参量预警云平台主界面图

2.多系统综合集成展示

平台具有良好的兼容性，现有得多种监测方法和系统，可统一接入平台，实现多样化监测手段和监测信息的综合显示。平台具有良好的扩展性，可以根据需要进行个性化的持续开发，满足矿井在未来新增其他监测手段、监测信息和数据的扩展、接入。

3.多参量综合分级实时预警

针对不同的监测系统和监测方式，建立科学合理的预警指标，包括微震监测的时空强预警指标（20 个）、冲击变形能指标和震动波 CT 反演、应力预警指标、矿压预警指标等预警指标体系，构建了基于冲击地压类型支持下的多参量带权重时空预警模型。

4.震动波 CT 反演预警

基于微震监测系统的震动波 CT 反演技术，可实现对工作面回采、巷道掘进期间的近场应力场探测、区域远场应力场探测及潜在冲击危险区域动态预测，指导现场制定针对性卸压解危措施。

5.冲击变形能指标预警

以变形能释放对应的震动微破裂为切入点，构建了基于微震重构的冲击变形能空间监测预警指标。

6.GIS 一张图管理

基于 GIS 信息平台一张图展示各矿地理位置、相关生产信息，GIS 矿图实时显示矿震事件位置及能量，矿井冲击风险状态实时、分级直观显示。

7.微震监测分析预警

平台自动生成微震频次能量曲线图、矿震事件柱状图，便于技术人员分析。提供数据表、曲线图、柱状图多种形式图表，任意切换。

8.应力在线分析预警

平台集成应力在线监测预警功能，可即时生成应力分布云图，直观显示等值应力分布范围（图2）。

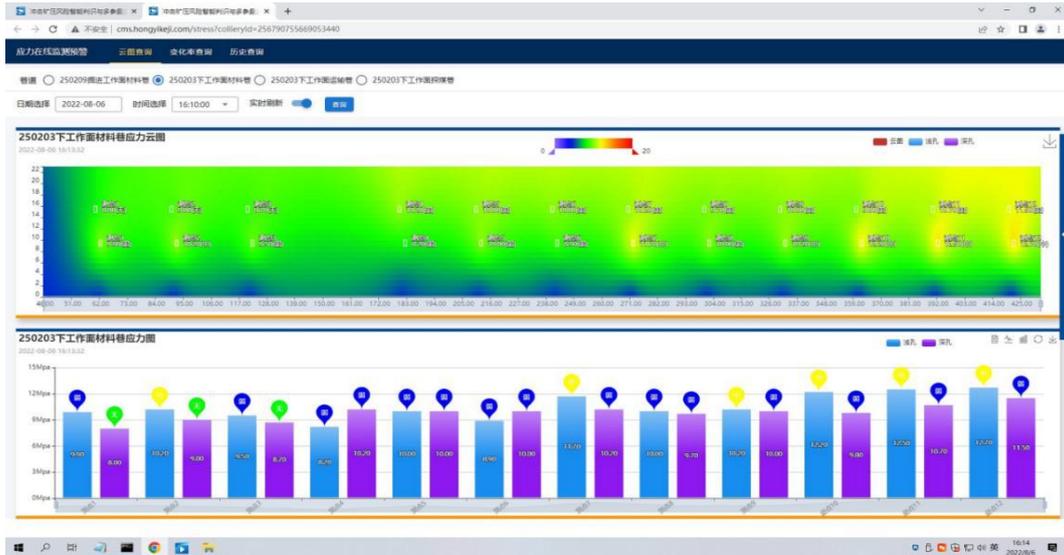


图2 冲击地压多参量预警云平台应力监测界面图

9.支架阻力分析预警

平台集成支架阻力分析预警功能。具备数据表、曲线图、柱状图任意切换生成，数据图表下载保存打印等多项实用功能。

10.地音预警功能。

平台集成地音监测预警功能。

11.监测、防治互馈

现场一方面通过钻屑、大直径卸压钻孔钻进中的动力现象等验证监测预警结果；另一方面可通过综合预警平台对防治措施的效果进行检验，实现监防互馈，极大提高现场防治效率，准确解危冲击危险区域。

12.钻屑监测信息综合集成、防治措施综合集成

钻屑监测位置、范围直观显示，多种防治措施信息集成展示，数据记录、查询。

13.大震自动语音报警与辅助分析功能

基于独家研发的矿震 P 波自动识别技术，平台实现了对现场采集的矿震信号的实时监测分析。平台实现了震源自动定位和能量快速、准确计算，并可通过语音对矿震信号进行分区、分能量级报警。

14.矿震震源分布二三维显示

平台具有矿震震源二三维显示功能，可直观了解震源与采掘区域位置关系。

15.一键报表功能、历史查询功能

平台设计有丰富、专业的报表功能，能够进行自动分析统计。提供矿井各分区冲击地压相关历史数据查询。

二、技术特点及先进性

1.具有强兼容性、强扩展性。微震、应力在线、支架阻力、地音、钻屑监测、大直径钻孔等多种监测和防治信息，可以统一接入平台，也可以根据需要进行个性化的持续开发，满足矿井在未来新增其他监测手段、监测信息和数据的扩展、接入。

2.近、远场冲击地压危险震动波 CT 反演预警，可通过反演云图直观显示高应力区及潜在冲击危险区。

3.具有独有的冲击变形能指数时序预警，可通过云图直观显示冲击能量场分布。

4.具有专业的监测预警指标体系及其权重自适应动态调整功能。

5.基于云平台数据处理技术，可实现异地访问、数据信息查询、预警提示，大幅提高管理效率，提高矿井冲击地压信息化、智能化管理水平。

三、智能化建设成效

1.形成了八位一体的冲击地压防治体系。通过多参量综合预警云平台的应用，促进矿井冲击地压防治理论和实践总结与改进，逐步形成了“健全机构、预测预报、监测预警、防范治理、效果检验、安全防护、教育培训、科技创新”防治方法的冲击地压防治体系。以此为基础，同时研发了三项实用新型专利。

2.实现了冲击地压零显现。在冲击地压防治工作开展上，强组织、强监测、强卸压、强支护、强管理、强培训，依托科技，与时俱进，依靠自动化、信息化，

并不断提升全矿冲击地压防治机械化、标准化水平。通过公司、矿井持续不懈地努力，冲击地压灾害得到有效管控，冲击地压显现由最高 2012 年全年 16 次至现今的“零冲击”，为冲击地压灾害监测、预测、防治上做出了突出的贡献，累积了许多可借鉴的经验，为矿井安全生产、资源保供和智能化建设水平提升发挥了至关重要的作用。

案例 67 龙王沟煤矿动力灾害精准防控系统

主要完成单位：鄂尔多斯市国源矿业开发有限责任公司

一、主要建设内容

中国大唐集团通过搭建以千米定向钻、孔中瞬变电磁智能装备为主，地面连续注浆系统为辅的工程平台，以建设微震监测、电法智能监测、水动态监测、“两探”和地质参数数据库为核心的感知平台，以精细地测地理信息系统、矿山真三维模型实时更新系统、安全生产一张图管控系统为基础的数据融合平台，以矿山安全预警与灾害防治决策支持系统、安全风险分级管控系统、矿山安全隐患闭环管理系统和煤矿应急指挥系统为主的决策支撑平台，实现了导水通道的超前探测与智能监测，确保了智能综放工作面安全回采。

龙王沟煤矿通过对矿井构造、富水异常等水文地质体采取“地-巷-孔”三维探测治理技术进行三维探测，实现地面、巷道、孔中的多维度探测与治理。通过巷道内采用“定向钻+槽波、音频电透视”进行异常探测，采取注浆手段进行异常治理，进行区域全覆盖探测与注浆治理；针对大水孔、异常孔采用“压放水试验+孔中瞬变电磁+微震监测+电法监测”进行靶域精准探测治理，实现构造探测治理由整体到局部的逐级强化；治理结束后，微震监测、电法监测进行持续联合监测，重点分析采掘扰动影响下构造滞后活化情况，总结形成 6 个关键参数指标，发现滞后突水预兆及时发布预警信息，如不可控，将与排水系统、应急系统进行联动响应。

通过建设井上下无人场所和无人硐室火灾智能监测预警及防灭火系统，融合了设备健康保障与云端会诊系统、固定场所机器人巡检系统、光纤测温等系统，实现区域火灾的实时智能监测、智能分析、智能控制。

二、技术特点及先进性

1. 无钻杆影响的正常背景场构建技术

孔中瞬变电磁的主要问题是观测曲线存在畸变，不符合瞬变电磁理论曲线特

征。本技术通过三维数值模拟给定一个符合实际和理论背景曲线，将实际测量数据中的异常场补充上去，重新构建一组易于反演处理的数据的技术，如图 1 所示。

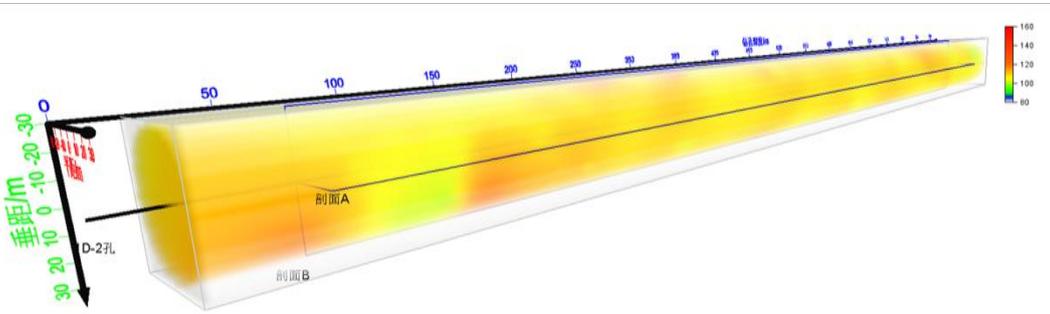


图 1 61612 工作面主运顺槽瞬变电磁剖面图

2. 水平分量纯异常场提取技术

针对多项式拟合和 Hermit 插值存在的问题，提出一种以所有垂直分量数据均值为初始值，根据各点与其的偏差不断更新的动态循环背景场求取技术，进而实现三分量异常区的有效确定和异常场的提取。

3. 定向长距离钻孔快速钻进技术

将定向钻进与常规回转钻进技术相结合，在目的层钻进过程中实现回转钻进提高破岩钻进效率，定向钻进调偏造斜，弥补了常规回转钻进钻孔轨迹无法控制、定向钻进单纯依赖孔底马达钻进，效率低下的问题，达到了既显著提高钻孔成孔效率，又能适当造斜的目的，如图 2 所示。



图 2 千米定向钻机

4. 地质透明逐级精细化建模技术

以三维地震勘探成果资料、地面勘探钻孔资料为基础，通过内插和深度转换，构建三维地质初始模型；增加井巷工程地质信息、局部高精度三维地震数据、工

作面区域槽波、音频电透视等物探数据和定向钻、常规钻等钻探数据，对三维地质模型进行精细处理；利用采掘智能监测数据、回采揭露数据等进行透明化处理及时态监测，形成小区域透明模型，如图 3 所示。

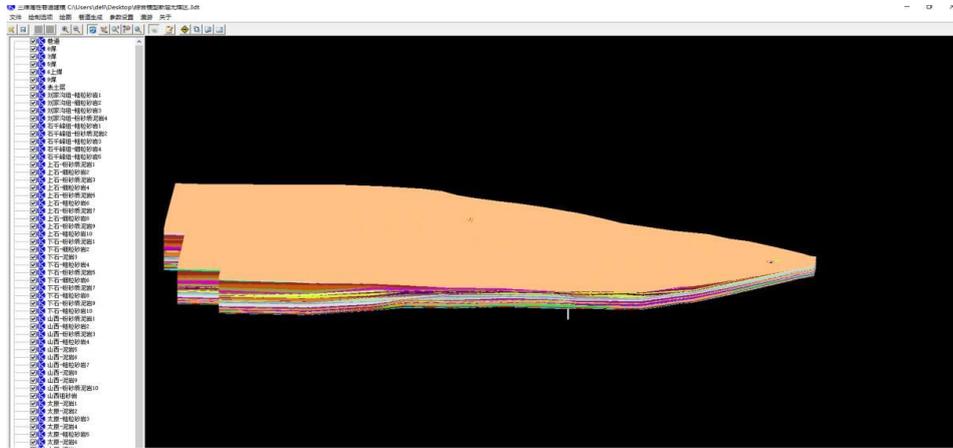


图 3 高精度连续地质体三维模型

5.火灾智能探测技术

应用火灾智能探测技术，通过配置智能烟雾传感器、智能火焰传感、智能温度传感器等，实时监测和分析井上下中央变电所、盘区变电所、地面主通风机房等地点火源情况，实现现场设备、灭火设施、现场环境的智能预测和决策分析，提高矿井火灾监测能力，如图 4 所示。

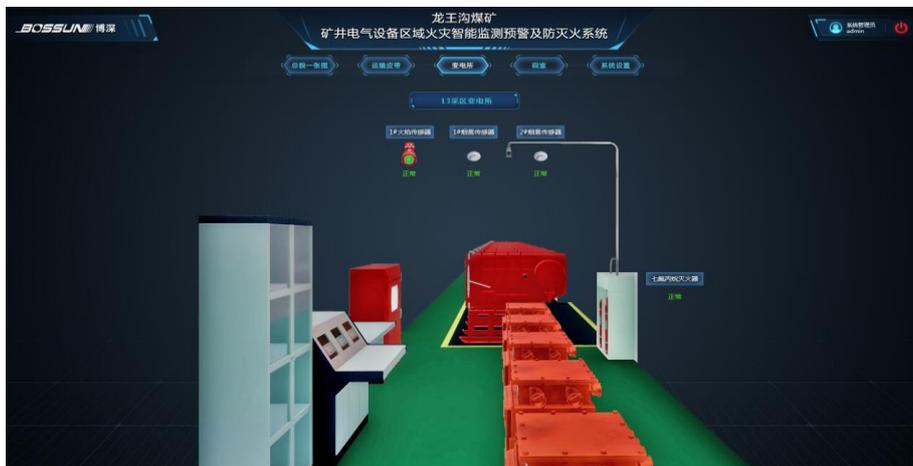


图 4 电气设备区域火灾智能监测预警与防灭火系统

6.火灾大数据分析技术

通过采用火灾大数据模态分析算法，利用火灾事故树模型，可有效分析和研判火灾事故发生的概率，实现火灾发生概率的超前研判和智能分析，提高矿井火灾的预测预警能力，如图 5 所示。

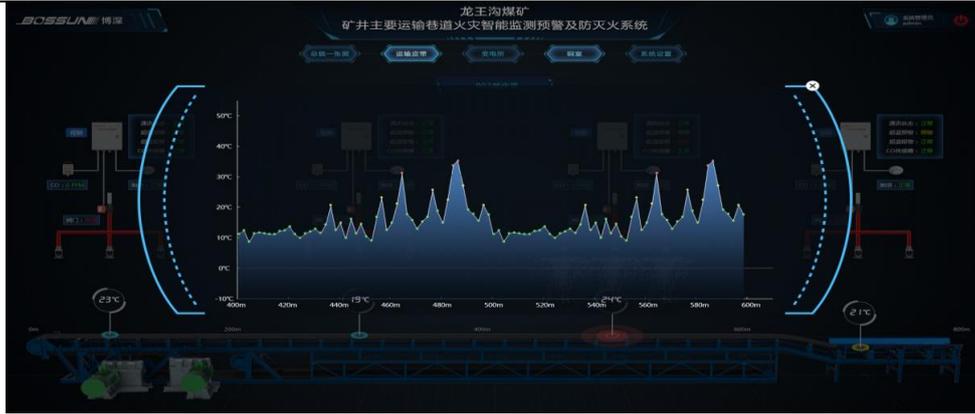


图 5 矿主要运输巷道火灾智能监测预警及防灭火系统

7. 远程设备健康故障诊断技术

通过应用远程设备故障诊断技术对煤矿大型设备，如皮带机、通风机、压风机、刮板机、破碎机、高压开关等设备进行多源数据融合分析和设备健康状态建模，可有效分析出设备潜在故障，实现设备健康状态的全面监测、健康评估、预警与故障诊断，如图 6 所示。

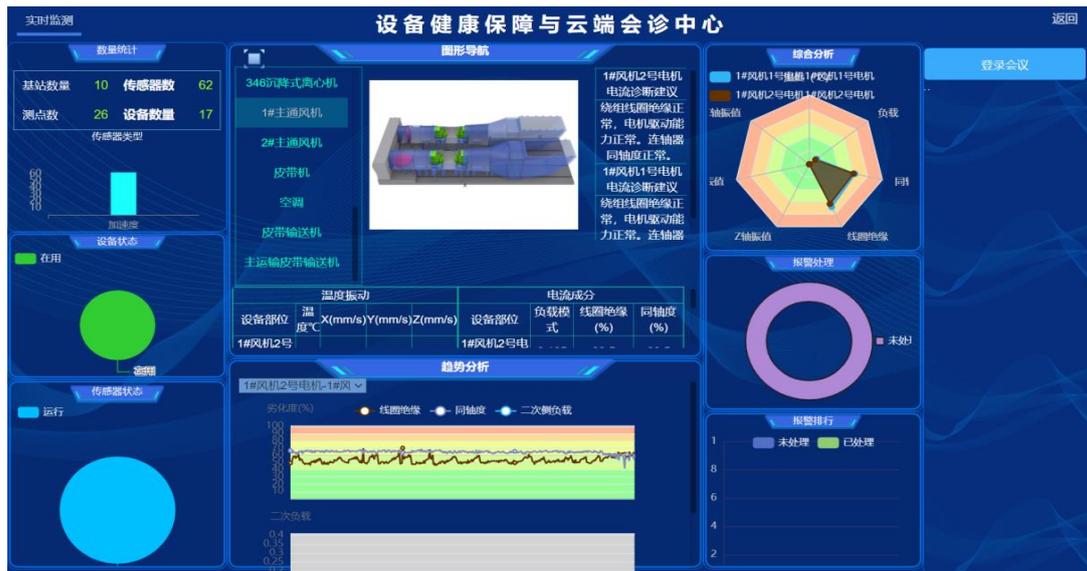


图 6 远程设备健康故障诊断系统

8. 机器人智能巡检技术

通过应用机器视觉技术，在井下主要场所应用智能巡检机器人系统，实时监测井下设备、环境、灭火设施等设备运行情况，实时将机器人巡检和智能识别的结果传输到机器人巡检平台，对大型机电和防灭火设备进行多源数据融合和智能联动控制，实现现场运行环境和设备运行工况的全面监测和智能识别，火源识别率达到 95%以上，实现了减人、提效、保安的目标，如图 7 所示。



图 7 机器人智能巡检系统

三、智能化建设成效

1. 水害监测与防治方面

一是创新实践了大批先进技术和高端智能装备，取得了发明及实用新型专利 7 项，软件著作权 1 项，正在申报行业标准 1 项，省部级科技奖 1 项，对同类型矿井具有推广借鉴价值；二是导水通道探测范围从 100m 拓展至 1000m、探测精度从点状概率探测变为线状精准探测、治理效果评价从定性估算变为时态监测与三维展示，数据分析实现智能化，三是通过防治水关键技术研究应用，直接作业人员减少 50%、工程效率提升 740%，累计解放可采储量 6000 余万吨。

2. 火灾监测与防治方面

一是通过对矿井全系统设备的实时数据进行智能化采集、分析、评估，实现了设备全生命周期管理，对系统评估出的设备“亚健康”状态和潜在火灾风险进行分类预警提示，通过视频、数据互联进行主动判断、分析，智能提示系统维护和故障处置；二是通过火灾探测预警、区域灭火智能监控、自动光纤测温、设备健康保障与云端会诊、机器人智能巡检等系统建设，实现了井上下所有无人硐室的在线实时监控与控制；三是通过与智慧矿山平台的深度融合和联动分析决策，实现了异常情况下火灾处置预案的自动启动，极大缩短了火灾应急响应和处置时间，第一时间将火灾彻底消灭在萌芽状态，保障了矿井的安全生产；四是通过防灭火系统研究与应用，井上下主要硐室防灭火设施实现了在线精准可视化管控，

极大降低了防灭火设施日常人工巡检的频次，彻底杜绝了灭火设施人工日常巡检漏检、假检的现象，全面提升了自动防灭火安全智能化水平，切实巩固了矿井安全生产防火墙。

案例 68 张双楼煤矿深井开采多元灾害智能化防治平台

主要完成单位：江苏徐矿能源股份有限公司

一、主要建设内容

（一）建设情况

张双楼煤矿坐落在江苏省徐州市沛县安国镇境内，是国家一级安全生产标准化矿井，2020 年建成了江苏省煤矿首个智能化综采工作面 21726 工作面，2020 年 12 月入选国家能源局、国家煤矿安全监察局首批 71 家智能化示范煤矿建设矿井之一，2021 年建成了全国冲击地压防治示范矿井，2021 年通过了江苏省发展和改革委员会（能源局）、江苏省应急管理厅（江苏煤矿安全监察局）组织的全国智能化示范矿井验收。

（二）21726 智能化采煤工作面基本情况

21726 智能化采煤工作面，位于-750m 水平 21 采区，工作面标高-1060~1180m。东部存在 7、9#煤合成区，局部火成岩侵入，合成区内煤层最大厚度约 11.0m，出合成区后 7、9 煤层间距逐渐增大，且 7、9#煤层厚度均迅速变薄。工作面煤层倾角 10°~35°，平均倾角 23°，两巷断面梯形设计。工作面存在冲击地压、高温热害、顶板、防灭火等灾害。

1.冲击地压灾害智能化防治

（1）基于通讯大数据系统，建成了冲击地压多参量综合监测预警云平台。冲击地压多参量综合预警云平台集成了微震、应力、钻屑、大直径卸压钻孔、CT 探测反演等多种系统及数据信息，对信息和数据进行统一管理，构建了基于冲击地压类型支持下的“三场”多参量权重时空预警模型，实现了矿井冲击地压多参量综合、分级、分区和实时预警。该平台自运行以来，高效发挥冲击地压智能预警功能，提高了冲击地压管理水平，图 1 所示。



图 1 冲击地压智能预警平台

(2) 基于红外遥感技术，研发了新型气动式智能煤粉监测装置。为提高冲击危险区域煤粉监测施工安全性及准确性，研发了智能煤粉监测机器人，以压风为动力源，能够实现遥控移机、精确定位、自动调整钻姿、钻屑参数与地压实时监测及遥控作业等功能，实现高集中应力环境下监测钻孔施工自动化，提高了施工效率和监测精度，能够有效规避因监测引起的冲击动力伤人现象，提高作业安全性，如图 2 所示。



图 2 智能钻屑系统示意图与现场应用图

(3) 基于钻场环境智能感知系统，实现了防冲卸压钻孔自动化施工。实现全自动上下钻杆技术、无线遥控操作技术、一键全自动钻孔技术、数据自动记录功能、智能防卡钻技术。通过井下远距离监控系统，操作人员可以在钻孔施工现场 300m 外进行操控，监视孔口及钻机状况，有效提高了现场作业安全系数。地面远控站具有钻机启停、钻进、状态监视以及钻孔参数采集上传等功能，可实现工作人员在地面调度指挥中心控制井下钻机工作功能，如图 3 所示。



图3 智能远控自动卸压钻车

(4) 基于智能 AI 技术，建立了冲击危险区域智能限员系统。冲击地压危险区域严格执行防冲限员制度，在采煤工作面两道超前支护处建立智能限员系统，利用智能 AI 技术识别进出人员信息，通过大数据进行比对分析，达到实时监控冲击危险区域内人员数量功能。当人员达到预警值后，能够主动发出警报，切断采煤机等设备电源，有效防止超员现象发生，如图 4 所示。

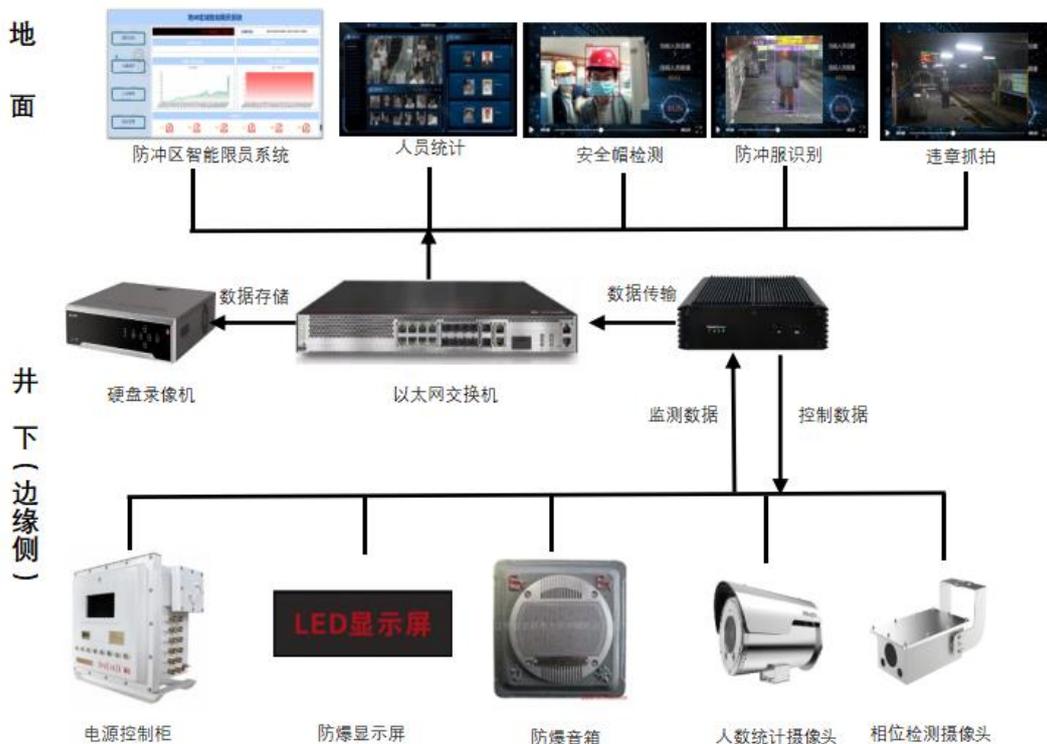


图4 智能限员与管理系统

(5) 冲击地压卸压效果智能检验技术。开发一种自动化检验装置——无线钻孔轨迹测量技术，可准确定位终孔位置、方位，可为钻机架设提供准确参考，

进一步提高钻孔卸压效率，实现了对钻孔、煤粉检测孔实时监控和管理，有效的提高了生产安全性和生产效率，如图 5 所示。

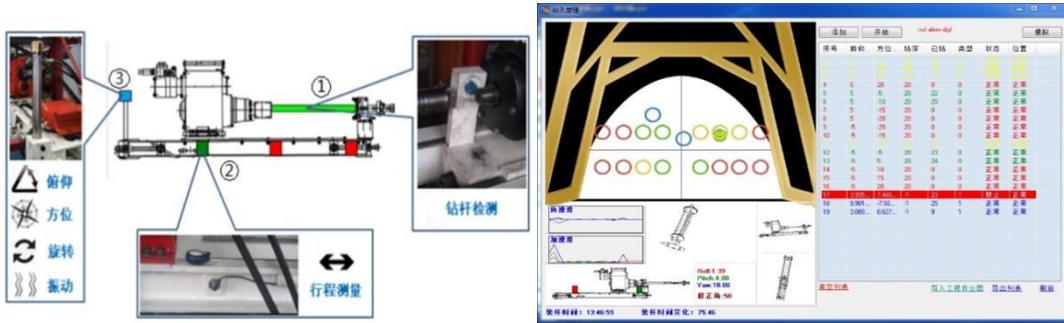


图 5 冲击地压卸压效果智能检验系统

2.深部高温热害治理

基于进回风巷热力学模型，实现高温矿井智能降温控制。开发了高温矿井工作面智能降温控制系统及需冷量智能计算软件，并采用 HEMS 降温系统对热害进行处理。研究了工作面高温煤壁与风流之间的传热原理，设计了基于回风巷局部通风机风量实时改变的均压通风阻隔采空区热源侵入的方法，并确定了通风机布置位置。结合矿井降温预测模型，制定了以“旬”或“半个月”作为温度调节周期，开发了高温矿井工作智能降温控制系统，有效控制了综采工作面的高温危害，如图 6 所示。



图 6 制冷机组智能调控界面

3.大倾角岩层直接顶梯形断面超前支架防护技术

研发并设计了具有两帮高度不同的直角梯形超前支护液压支架组，并制定了超前支护液压支架组的智能控制流程，实现了工作面巷道超前支护和工作面回采支护的同步协调智能控制。对大倾角顶板起到了稳定支护作用，为工作面行人出口提供了安全保障，为安全生产创造了有利的安全生产条件。如图 7 所示。



图 7 大倾角岩层直接顶梯形断面超前支架防护现场图

4.煤自燃智能预警管理系统

提出基于煤自燃过程中产生 CO 浓度曲线的斜率以及烯烷比的煤自燃预警体系，同时根据大量实验，构建了基于 CO 浓度的煤温 GA-SVM 预测模型，并提出了煤低温氧化过程中 CO 浓度与煤温的数学关系式，研发了煤自燃智能预警管理系统软件。运用煤自燃智能预警软件监测工作面的气体数据，从而反演所对应的温度，取得良好的效果，解决了漏风和大量遗煤问题。如图 8 所示。



图 8 煤自燃智能预警管理系统

二、技术特点及先进性

（一）技术特点及先进性

1.给出了多层关键层发生同时异步断裂能量叠加演化致灾机制，提出冲击防治要求的工作面推采速度智能调节思路和方法。

2.研发了适应梯形断面参数变化的智能化两巷超前支护液压支架组，设计了超前支护液压支架组的智能控制流程，实现了深井工作面回采巷道超前支护和工作面的同步协调智能控制。

3.开发了高温矿井工作面智能降温控制系统及需冷量智能计算软件，有效控制了综采工作面的高温危害。

4.开发了煤自燃智能预警管理系统软件，运用煤自燃智能预警软件监测工作

面的气体数据，从而反演所对应的温度，解决了漏风和大量遗煤问题。

（二）技术性能、水平

本研究形成了以工作面地质异常区域采动应力和能力积聚演化机理、直角梯形巷道的非对称受力-变形-破坏特征、回风巷局部通风机风量实时改变的均压通风阻隔采空区热源侵入的方法为基础，以工作面推进速度智能合理控制冲击地压、动压巷道超前支护液压支架组智能控制、高温工作面空冷机组合理布置方法及需冷量智能调节为核心的复杂地质条件煤炭资源的智能高效开采技术体系，拓展了现有智能开采技术的应用条件，促进了采矿技术的革新。

三、智能化建设成效

通过智能化生产，智能化工作面“一键启停”率达 90%以上、煤机记忆截割率稳步在 80~90%之间、支架追机移架率达到 50~70%。智能化工作面采用“三六”生产组织模式，取消夜班生产，在产量不减的前提下两家综采工区在册人数由原来的 306 人精简至 244 人，减少人员 62 人，减少率达 20.3%，智能化综采工作面生产期间控制在 9 人以内，实现了智能减人提效的目的。

案例 69 俄霍布拉克煤矿工作面智能监控系统

主要完成单位：徐州矿务（集团）新疆天山矿业有限责任公司

一、主要建设内容

采煤工作面生产过程中存在的安全风险较高，为提高现场人员的安全系数，有效的解决操作人员安全管控方面存在自主判断及安全预警不足等问题。建立智能 AI 行为分析监控系统（以下简称 AI 系统），对现场设备运行状态、人员位置信息等安全生产管控重点进行有效整合。为现场环境、设备运行提供有效直观的预警、联动、分析、控制等功能。

现场通过 5G 无线通信、AI 系统平台、视频监控及现场设备的集成，利用 AI 系统提前预判危险行为，及时联动采煤机、刮板机运行状态。采煤机、刮板机具有 RJ45 硬件接口，可接入井下环网交换机，同时支持 Modbus TCP 通讯协议、信号写入等功能。本次案例中属于紧急联动，通过联动提高处置效率、流程化处置、避免人为处置错误。在工作面采煤过程中对人员位置实时监测，当人员处在危险区域时，AI 系统自动对采煤机、刮板运输机进行闭锁控制，实现井下采煤工作面现场人员的安全作业。

（一）设备安装原理

采用 4K 超高清视频与 5G 融合通信技术相结合，实现超高清视频监控、远程现场实时展示、监控、预警等功能。

1. 前端设备

工作面巷道支护板架下方平均 30 米安装 1 台带有 5G 模组的 4K 超高清摄像机（具备 AI 识别功能）、5G 无线基站，井下集控室部署视频监控工作站。

通过现场 5G 无线信号实现 4K 超高清视频监控无线回传。将视频画面整合到工作站显示器上，通过显示器内的传输接口将画面实时经过环网传输至地面调度指挥中心。地面中心机房部署 AI 系统后台识别服务器及视频监控系统服务器，通过两台服务器分别与核心交换机连接相互的以太网通讯，实现危险情况的预警

分析。

2.网络构架

4K 视频传输速率至少为 12-40Mbps、48-160 Mbps，4G 网络已无法完全满足其网络流量、存储空间和回传时延等技术指标要求。因此选择 5G 融合通信技术作为支撑。在地面工广部署 5G 基站，实现地面工广 5G 信号全覆盖，并能够与井下 5G 手机互通使用。在井下部署 FlexE 切片技术的 50GE 的高速有线光纤环网，工作面建设 5G 融合通信系统，实现 5G 网络信号全覆盖，为井下设备提供高速、多连、低延时的信号接入功能，上行实时速率超过 700Mbps。

3.平台应用

AI 系统平台不仅实现对现场人员不安全行为分析监控功能外，而且集成了远程监控工作面现场采煤机、破碎机、转载机、喷雾泵、乳化泵的等设备的工作状态、主要运行参数。当设备在出现故障时，能够进行状态报警提示及报警推图等功能。搭建成为一张全面感知网络、建设高速数据传输通道，形成了多系统融合平台。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

系统适用于矿井各类场景应用。沉淀行业特色的模型库，有效提升业务复用能力。一次建模，多处复用。具备强大的数据采集、协议解析能力，可扩展性强：平台统一实现弹屏、预警、管理、统计等功能。支持多系统联动：行为监控支持与广播、红外、开关量信号等多系统联动功能。

（二）技术创新点

1.5G+AI 系统联动

通过 5G 专网，AI 系统报警事件触发，工作面的摄像机，部署 AI 系统后台识别服务器，实现危险情况的预警分析；包括实现报警联动控制、自动推图提醒等功能。有效提升调度效率。

2.AI 系统平台

以矿井各类安全子系统数据为基础，通过采集各类安全、环境类子系统数据，

实现综合安全信息可视化，实现集中监测。将安全管理由事先预防向事先预控发展，在 AI 系统上可以进行井下重大危险源预测预警，全面提升矿井管控和防治水平。

3.5G+4K 高清视频监控回传

4K 视频监控全部采用 5G 传输方式完成通信，构建了全 5G 形态的视频监控系统。采用 4K 超高清摄像机、内置 5G 模组，实现 800 万像素的超高清视频回传满足信号超低时延，超高速率信号传输。

（三）技术先进性

解决矿井设备运行状态的多源异构信息融合与挖掘难题，突破了动态可视化关键技术，实现了设备复杂海量监测数据的可视化动态发布。攻克了传统设备安全监控系统存在的数据格式不统一、可靠性低、监控死角和信息孤岛等问题。提高了设备运行状态参数智能感知和可视化监控，能及时发现设备运行过程中出现的风险源，解决了因人员投入多、移动线路长、分布范围广、巡检难度大而导致安全管理难的问题，为矿井安全高效生产提供了技术保障。

三、智能化建设成效

改善矿井人员的工作环境，利用远程视频监控，相关人员能够非常准确地实时监测采煤机工作状况，实时采集煤矿井现场设备运转信息，实时预警不规范行为然后进行显示，加强了彼此之间的交流与互动，提高了安全生产规范，解决了长期以来矿井生产最前端上报延迟的问题。所采用的多项技术均在煤炭精准智能开采行业处于国内外领先水平，给采矿业由传统的经验型、定型决策为主，向精准型、定量智能决策转变提供了可靠的网络平台与技术保障，进一步提升矿井无人化开采在防灾、减灾和救灾中安全检测系统自动化装备的智能水平，为增强安全预警与报警的可靠性和高效性奠定基础，有效促进行业整体竞争力，推动煤炭工业由劳动密集型向技术密集型方向转型，对井下环境安全监测的自动化装备的智能提升和安全生产具有长期持续的经济效益。

案例 70 新田煤矿 5G 专网与视频 AI 分析系统

主要完成单位：永贵能源开发有限责任公司

一、主要建设内容

构建基于 5G 传输的高清视频监控和 AI 图像识别分析系统。实现井下实时视频监控高清呈现且分辨率优于 4K，并对人员、机器、环境等监控视频进行智能分析，精准识别各种安全隐患和事故风险，响应时间小于 10ms，并实现与煤矿其他相关子系统的联动与协同，提高安全生产效率。

1. 构建了矿用 5G 专网模式，实现 5G 专网组网

5G 专网是基于“灵活组网、按需定制”原则，为客户定制的专用网络。5G 专网有“优享、专享、尊享”三种模式，三种模式网络能力逐步叠加、专用程度逐步提高、网络价值逐步增强。5G 专网架构如图 1。

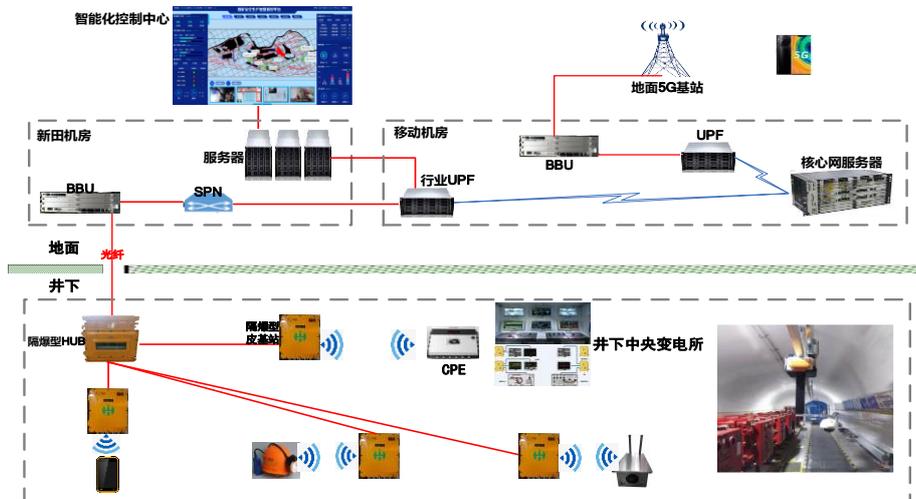


图 1 5G 专网架构

2. 搭建新田煤矿 AI 智能管理平台，构建矿山 AI 视频分析与识别子系统

在 5G 网络基础上安装 36 台智能 AI 摄像机，实现对主煤流、井口、主井皮带头、井下中央泵房、工作面、掘进头等关键地点人员进入不安全区域、跨越皮带、异物、煤量、护帮板等的实时监控和报警，改变了传统人盯人局面。AI 智能管理平台如图 2。



图 2 AI 智能管理平台

二、技术特点及先进性

本项目在煤矿专用 5G 通信网络基础上，针对目前井下视频监控系统视频画面分辨率较低、无法对各种异常情况提前预判、事故突发时响应速度慢、智能化分析和控制联动效率低等问题，应用高清视频采集技术、图像识别技术、大数据分析云计算技术等现代智能化手段。研究矿井视频图像的超分辨率重建方法，实现井下实时视频监控高清呈现且分辨率优于 4K；研究基于数据挖掘与边缘计算的巷道物理环境与人、机交互的空间模型，构建边云协同数字孪生的物理空间-信息空间映射关系和管理；研究基于深度学习的矿井复杂环境人-机-环图像特征检测与识别算法，构建基于 5G 传输的高清视频监控和 AI 图像识别分析系统。

三、智能化建设成效

通过煤矿井下 5G 建设示范项目——基于 5G 传输的高清视频监控和 AI 图像识别分析系统研究及应用示范。

（一）经济技术指标

1. 高清视频监控：通过图像超分辨率重建，实现优于 4K 的视频高清呈现；
2. 在 AI 图像识别分析系统中，自动识别人员、设备和环境等安全隐患，并实现实时联动和报警，响应时间不超过 10ms；
3. 井下 5G 智能终端：配备井下本安认证的 5G 智能终端，自带 AI 识别功能，支持 5G 语音通话、视频通话；
4. 建立云计算平台和 5G 专网合二为一。

（二）经济效益

该示范应用项目的智能化程度高、技术指标先进、可靠性高，能够极大提高我国煤矿智能化开采的生产效率。技术成果的产业化和示范应用完全符合国家的能源安全战略，符合我国煤矿安全、高产、高效生产的现实需求。可为我国煤炭装备提供可靠的技术支持和保障，具有非常广阔的应用市场前景，经济效益显著。

（三）社会效益

通过本项目实施，形成一批具有国内外领先水平和自主知识产权的高新技术和高端装备，加快高新技术向传统行业渗透，改变煤炭工业生产面貌，推动产业的技术进步，有效地缓解制约煤矿安全、高产、高效生产的技术瓶颈，提高产业竞争力，推动我国煤炭产业实现可持续发展。同时为煤炭产业在更高层次上的发展以及结构调整提供技术支撑和安全保障，社会效益十分显著。

案例 71 高河煤矿智能供电系统

主要完成单位：山西高河能源有限公司

一、主要建设内容

山西高河能源有限公司作为国家首批智能化示范煤矿之一，同时也是山西省 10 座国家智能化示范矿井之一。积极贯彻落实国家发改委、国家能源局等八部委《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，以潞安化工集团“1+3+N”智能煤矿建设理念为指引，按照“以机械化为基础、自动化为主导、信息化为支撑、智能化常态应用为方向”思路，推行“机管代人管、自动代主动、智慧代智能”革命，系统推进矿山智能化建设落地。

（一）建设情况

高河能源智能供电项目是在深入研究高河能源现有供电现状的基础上，综合运用工业智能物联网的相关经验、技术和产品；将数字化变电站技术、智能电网新技术、智能传感感知技术、边缘计算技术、远程云运维功能、手机 APP 功能应用到煤矿供电监控系统中来。实现了煤矿高低压供电系统防控预警、监测监控、保护、故障分析、故障定位、故障闭锁、能源管控、安全作业管控、远程运维、融合联动与快速恢复供电等一系列智能化功能，彻底解决了煤矿高低压供电系统无人值守、设备巡检、环境监测、漏电选择性动作问题、防越级跳闸和自动故障定位保护问题，能够做到智能感知机电设备的运行状态，进行大数据深度挖掘、智能分析、智能判断，可预知设备故障、优化运行环境、优化设备配置，从而达到电气设备安全、经济可靠运行的目的。

1.建成了煤矿智能供电云网融合管控平台，实现了煤矿井下智能供电的安全稳定、系统优化高效、节能环保，达到了智能、少人、无人、智能的目标，解决了煤矿井下供电技术难题以及现场存在的实际问题。

2.实现了井上下供电系统的统一监控、信息的统一管理、平台的全覆盖。

3.实现了的防越级跳闸保护系统、精准选择性漏电保护系统全电网覆盖，智

能统计分析、倒闸操作等。

4.实现了智能管控平台的设备、井下局部通风机无人值守、设备监控信息、供电系统实现统一展示，互联互通。

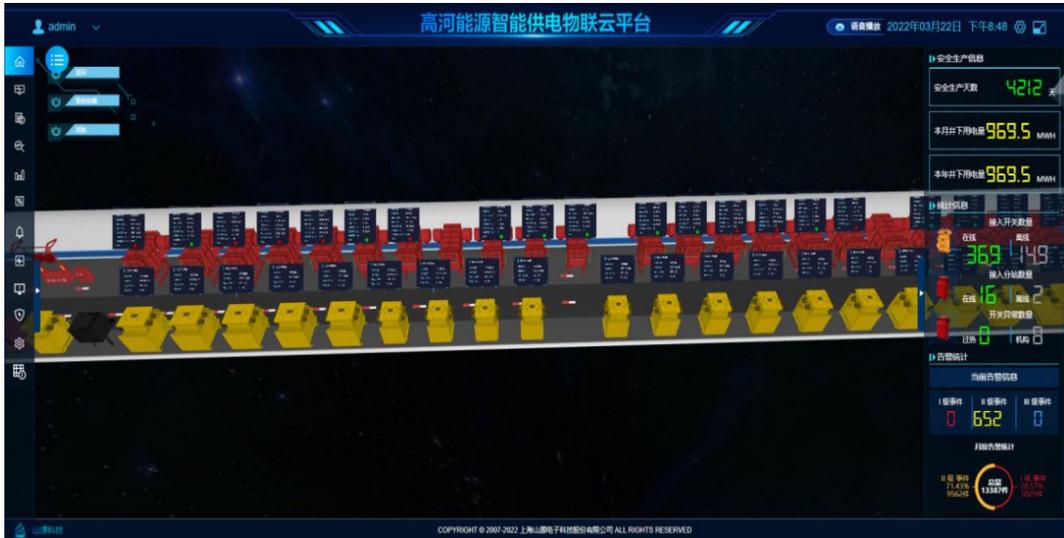


图 1 智能管控平台

(二) 主要建设内容

升级电力监控系统为智能供电物联云平台，具体实现以下功能：

1.智能监控功能、音视频联动、应急联动、批量远程漏电试验、一键式复送电、扰动（故障）录波及分析、带电停电区域动态着色等功能；



图 2 音视频联动、智能监控



图 3 远程漏电试验、一键式复送电、带电停电区域动态着色



图 4 扰动曲线分析

2.智能故障分析、电网扰动数据采集、扰动曲线分析、诊断分析、故障定位、故障隔离功能；

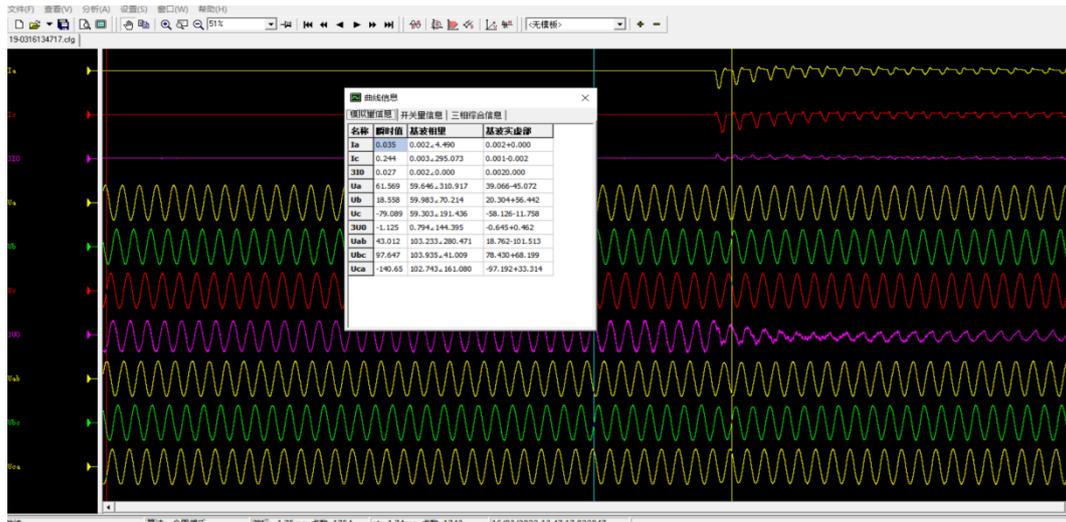


图 5 故障录波分析



图 6 智能故障分析

- 3.定值在线计算与定值自适应功能，确保保护在最优的保护定值下运行；
- 4.定值校验异常告警功能；
- 5.防越级网络完好性诊断预警功能；
- 6.开关的健康诊断及预知性维护功能；
- 7.开关设备、电气负荷、系统接地、母线电压失衡、控制回路异常等统计分析功能；
- 8.智能运维功能；
- 9.节能降耗、能耗分析、能耗决策功能；



图 7 定值在线计算

序号	设备名称	保护器类型	变电所名称	开关性质	定值名称	运行定值	计算定值	合理范围
1	1号高开	ZBT-11CN (CW)保护器	中央变电所	进线开关	过流保护定值	8.33	4.8	4.80—15.98
2	1号高开	ZBT-11CN (CW)保护器	中央变电所	进线开关	短路保护定值	10	16.03	4.80—15.98
3	9号高开	ZBT-11CN (CW)保护器	中央变电所	出线开关	过流保护定值	20	44.49	13.35—44.49
4	9号高开	ZBT-11CN (CW)保护器	中央变电所	出线开关	短路保护定值	22.5	47.95	14.39—47.95
5	10号高开	ZBT-11CN (CW)保护器	中央变电所	出线开关	短路保护定值	22.5	47.95	14.39—47.95
6	10号高开	ZBT-11CN (CW)保护器	中央变电所	出线开关	过流保护定值	20	44.93	13.48—44.93

图 8 定值合理性检查

（三）工作经验

1.要有统一的管控平台支撑，充分考虑与现有设备情况相结合，保障建设的功能完善性和兼容性，确保软硬件产品的安装、调试能顺利按时完成；

2.系统建设过程中，结合矿井科队管理模式，充分考虑队组层级信息需求，在队组值班室同步建立监控平台，实现与集控中心数据共享。

3.要充分考虑经济实用性。高河能源在公司“算账”文化指导下，实现井上下设备用电信息的全面统计和智能分析，指导全矿节电管理工作，取得良好节能和经济效益。

二、技术特点及先进性

1.智能供电物联网云平台

智能供电物联网云平台将大数据统计、人工智能、智能电网新技术(防越级、精准选漏、智能开关、智能保护)、光纤通信技术、智能传感感知技术、可视化操作技术、开关全电动化操作技术、远程云运维功能等一系列现代化的新技术用到煤矿供配电系统中来，实现煤矿高低压供电系统供电拓扑、防控预警、监测监控、定值在线计算、定值合理性检查、故障预警、故障分析、故障定位、故障闭锁、能源管控、大数据分析、远程运维、应急联动与快速恢复供电等一系列智能化功能。

2.分布式防越级跳闸保护系统

分布式防越级跳闸保护系统采用网络化基因拓扑算法，实现防越级系统没有

保护死区，整体可靠性高。

3. 诊断信号法精准选漏保护系统

诊断信号法精准选漏保护系统具有 100%选线准确率，实现精准选漏。

4. 智能综合微机保护器

结合智能综合微机保护器，实现触头位置可视化监测、温度报警和过温故障指示等功能、实现设备的预知性维护。

三、智能化建设成效

高河能源智能供电系统通过物联网云平台技术实现了对井上下供电全流程的智能监控、智能诊断、智能运维，确保了矿井的供电安全、供电可靠。

1. 实现了变电所可视化、无人化、智能化建设；

2. 在线定值计算，使定值随电网结构变化而改变，提高保护动作正确性，减少停电时间 10%；

3. 通过能效智能分析和辅助决策，每年节约电能 4%；

4. 形成一套经过检验的智能电网的平台体系；

5. 实现了电力设备数据建模、供电系统的自动拓扑、系统的健康诊断分析、预警和预知性维护、提高无功补偿和制定补偿策略、在线式定值计算和定值校验、防止了井下短路故障引起的越级跳闸、解决了井下高压漏电无选择性难题。

案例 72 杨家村煤矿井下零散排水点智能控制系统

主要完成单位：山东能源西北矿业有限公司

一、主要建设内容

由于煤矿井下分散排水地点分散、距离远、设备移动频繁，采用现有的光纤网络和现场总线通讯需要铺设大量的通讯线路，不仅通讯线路和设备投资大，而且结构复杂、维护工作量巨大。针对目前分散排水系统中存在的问题，采用当前先进的通讯技术及设备智能监控技术，建立电力线通讯分散排水集控系统。

（一）系统建设技术方案

本集控系统由现场集控设备、现场电力线通讯网、矿井主干通讯网络、地面远程监中心构成，系统结构图 1 所示。

现场集控设备：主要由水泵起动机、智能保护器、传感器组成，实现对水泵的电气运行数据监测、水仓水位的监测、水泵排水的智能起停控制；

现场电力线通讯网：由安装在每台变压器供电端的矿用隔爆兼本安型电力线通讯监控分站和同一变压器供电网络中的智能监控保护器构成，直接通过为水泵供电的电力电缆传送监控信号。

矿井主干通讯网络：由电力线通讯监控分站通过通讯光缆接入矿井网络的交换机组成，实现与矿井主干网络的连接和数据共享。

地面远程监控中心：由监控主机、报警音箱和煤矿电力线通讯分散排水集控系统软件组成，实现监控数据的采集存储与分析、设备故障的预警和保护、网络通讯与数据发布等功能。

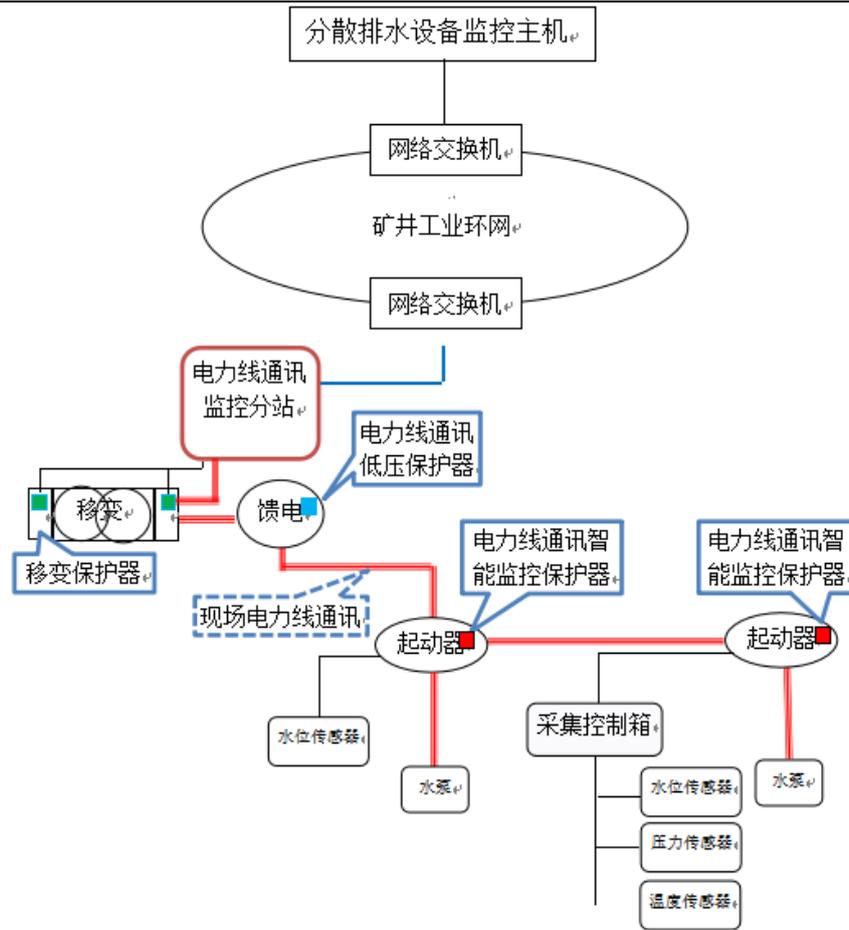


图 1 电力线通讯系统结构图

（二）分散排水设备改造

1. 起动器改造

将磁力起动器内部保护器更换为 QZB-30II 电力线通讯智能监控保护器，不需改变其他电路和器件，使其具备水泵及起动器运行状态和运行数据的监测、与集控中心双向通讯、设备全面保护等功能。

2. 水位监测方案

采用电极式或超声波高低水位传感器，实现高低限水位的监测及根据水位高低自动开停泵控制。

3. 可扩展接入其他传感器

可接入水泵泵体温度、排水压力等传感器，做到设备参数全面监测。

（三）供电设备远程监控改造

为实现分散排水供电设备断电后的快速判断故障原因、恢复送电，避免因恢复送电时间过长影响排水，需对分散排水的供电设备进行远程监控改造。

1. 低压馈电开关改造

将低压馈电开关内部保护器其更换为具备电力线通讯功能的 DZB14-K 型矿用低压智能计量监控保护器。更换后的保护器除具备基本的监测监控功能、常规保护功能外，还具有后备电源、电子挂牌、安全操作闭锁、远程漏电试验等功能，如图 2 所示。



图 2 低压馈电开关远控界面

2. 移动变电站改造

将移动变电站内部保护器更换为 GZB14-KY 矿用移动变电站高压智能计量监控保护器和 DZB14-KY 矿用移动变电站低压智能计量监控保护器。更换后的保护器除具备基本的监测监控功能、常规保护功能外，还具有后备电源、电子挂牌、安全操作闭锁、远程漏电试验等功能，如图 3 所示。

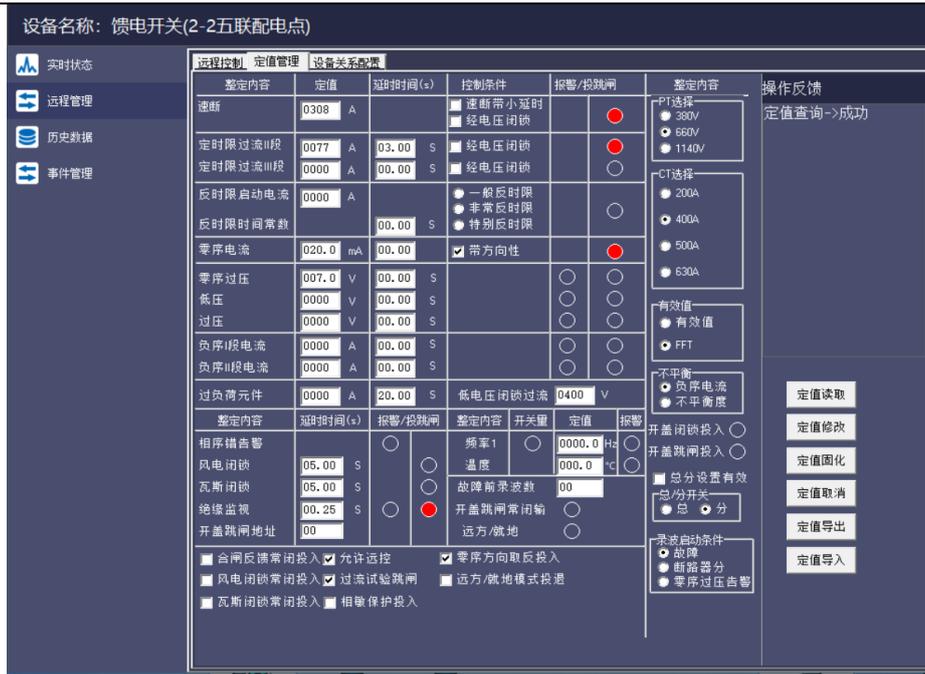


图 3 智能保护器参数设置界面

(四) 网络通讯

1. 现场电力线通讯网

采用矿用低压电力线通讯技术构建集控系统的现场通讯网络，实现排水设备的通讯组网。在变压器低压侧安装一台矿用隔爆兼本安型电力线通讯监控分站，通过供电线路与具有电力线通讯功能的起动机保护器或水泵智能控制器进行通讯，构成现场电力线通讯网。

2. 矿井主干通讯网络

主干通讯网络为矿井工业以太网，由电力线通讯监控分站将电力线通讯信号转换为网络信号，通过以太网光口接入就近的矿井工业以太网交换机，实现与地面监控主机的通讯，实现对现场设备的数据采集和集中控制。

(五) 地面远程监控中心

在地面远程监控中心配置 1 台监控主机、1 台液晶显示器、1 台报警音箱及 1 套煤矿分散排水设备集控系统软件。监控主机连接矿井工业以太网，实现集控系统的信息采集分析、运行状态监视、远程集中控制，如图 4~图 6 所示。

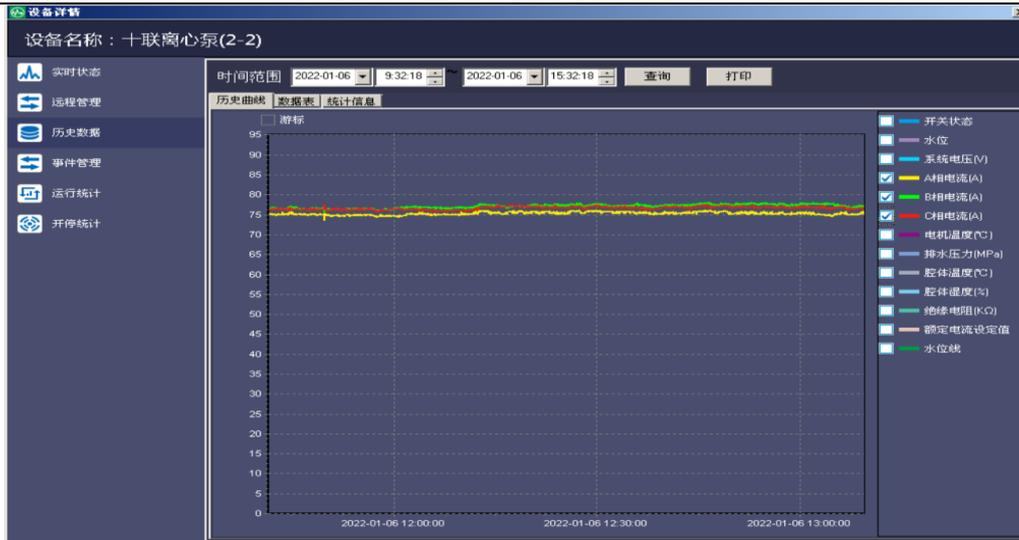


图 4 数据采集分析



图 5 运行状态监视



图 6 设备远程集中控制

(六) 系统应用效果

1.对井下分散布置的水泵实现地面远程集中监测、控制和管理。

2.实现分散水泵的运行工况参数（水位）和电力运行数据的监测记录、统计分析为设备维护、检修提供数据支持。

3.实现分散排水设备的接入自动识别，即接即控，简化了排水系统的调整优化流程。

4.系统具有开放性，可接入矿井自动化平台，也可接入矿井主排水系统，实现全矿井排水供水系统的集控管理。

5.结构简单、维护方便、投资节省。

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1.无需通讯电缆和通讯设备，无需构建通讯网络和专业维护管理，网络设施和结构简单，实施方便容易。

2.无需繁复的通讯设置，即插即用，通讯网络构建与供电线路同步。

3.随时增减和扩展通讯节点，适应工业现场生产情况随时变化。

4.直接通讯距离达 3000 米，支线结构和数量不受限制。

5.通讯速率高，数据传输量大，适用于多种工业应用场景。

6.信号采用适合于煤矿低压电网的扩频-跳频算法，通讯抗干扰能力强。

（二）先进性

1.建立井下分散排水设备的网络拓扑和运行模型，采用电力线通讯技术构建设备智能运行监控系统，实现分散排水设备的集中管理。

2.应用基于正交频分调制技术，突破目前通信信道的传输瓶颈，不需要敷设通讯电缆和设置通讯装置。

3.电力线通讯设备即接即用技术，无需繁复的通讯设置，接入供电线路即可通讯，供电线路与通讯网络构建同步。

4.建设井下电力物联网，研究电力线通讯系统融合传感、计量、大数据分析、数据运营等技术，满足物联网在能源领域的发展方向。

5.井下低压电网智能保护+电力载波一体化设计，实现设备远程监测监控。

6.基于经验模态分解算法的井下低压设备载波通信可靠性研究，能够很好地

抑制井下低压设备的白噪声及谐波的干扰。

7.基于井下低压设备载波通信自动组网算法，保持该网络通信的可靠性和健壮性。

8.通过对用电设备的各项电参数及外部非电量参数的智能监测，实现用电设备的智能操控、自动运行，达到设备无人值守、安全运行。

三、智能化建设成效

1.节能降耗方面。根据各分散排水点的工况数据，结合峰谷时段，合理调配开停水泵，达到最优的运行效率，降低排水电耗，以井下每天正常运行 75 台分散排水泵，每台水泵每天节电 16.8 度，按每度电费均价 1.8 元进行计算，节能降耗 82.782 万元。

2.节支增效方面。通过对分散排水设备的智能化改造，提升了设备的电气保护性能，减少了磁力起动器及水泵的损坏率，节省设备维修费用及配件费用 75 万/年。

3.减人提效方面。系统建设完成后，节省分散排水值班及巡护人员 6 人，以 2021 年全矿劳务工年均工资 12.8 万元计，公司因支出各项个人保险费率约为 60%，节约劳动报酬支出： $12.8 \times 6 \times 1.6 = 122.88$ 万元。

4.减轻劳动作业强度方面。解决了分散低压设备通讯网络安装维护工作量巨大的问题，节省大量的设备投资和人工维护费用，减少了工人工作劳动强度。

第七章 智能洗选

案例 73 准能选煤厂两级标准选煤数据库及管理系统

主要完成单位：国能准能集团有限责任公司

一、主要建设内容

（一）建设背景

按照《煤矿智能化建设指南（2021 年版）》有关要求，“准能选煤厂两级标准选煤数据库及管理系统”项目重点研究了《指南》第六章“煤矿云计算数据中心”中要求的数据采集、数据存储、数据管理服务、数据访问服务等内容，实现了选煤数据标准化、集成化、资源化管理，消灭了数据孤岛，为选煤生产控制和运营管理提供了标准数据支持。

本系统主要采用“数据治理”的理念与技术，将所有分散的选煤厂各车间生产单元、业务管理、集团公司统建与自建 MES 系统的数据集成在一个平台上，并通过标准数据字典将所有集成的数据规范化、标准化，使得全厂数据能汇聚、能共享、找得到、看得懂、用得上，建立起智能化选煤厂的数据基础。该系统的建设体现了准能公司实现智能化的战略眼光，通过初级试点、全面铺开、逐步完善的过程实现。

通过开展《“智能煤矿”—选煤厂智能化建设规划及数据标准研究》项目，调研选煤厂数据类型、分布特点及发展趋势，以 2 个重介浅槽分选系统作为试点，摸索出了数据标准化的路子，后续对 10 个车间的工业控制数据进行标准化工作。制定了规范性文件，建立了标准数据字典系统，通过字典系统对控制元数据进行标准化整理，将原有近 50000 个控制数据点的元数据进行了标准化梳理完善，形成了选煤控制元数据。对全厂管理数据进行梳理、标准化、元数据整理，形成集团公司管理部门通用、选煤厂专用管理数据字典。编制了“标准选煤数据库及管理系统”软件，形成对字典、元数据、基础数据、数据接口的管理系统。

（二）系统建设内容

“准能选煤厂两级标准选煤数据库及管理系统”建设内容分为：数据字典体

系建设、元数据体系建设、数据接口研究、数据存储与调用机制研究、以及标准选煤数据管理系统软件开发。其中标准数据字典是数据标准化与整个系统的核心，分为行业与集团通用字典与厂级专用字典。如图 1 所示。

字典编号	上级字典编号	序号	字典值	英文标题	英文缩写
1	▼ 0101	01	选煤厂类型	plant_type	
2	010101	01	炼焦煤选煤厂	Coking_coal_plant	CCP
3	010102	02	动力煤选煤厂	Power_coal_plant	PCP
4	010103	03	炼焦、动力兼选	Coking_and_power_co...	CPCP
5	▼ 0102	02	洗煤方法表	Coal_prep_method	
6	010201	01	块煤重介	Lump_coal_dense_med...	LCDM
7	010202	02	重介旋流器	Dense_medium_cyclone	DMC
8	010203	03	跳汰选	Jigging_separation	JIG
9	010204	04	粗煤泥重介	Slime_dense_medium	SDM
10	010205	05	粗煤泥干抗床	teetered_bed_separator	TBS

图 1 标准选煤数据系统界面

1. 控制数据字典体系

控制字典体系是控制数据标准化的关键，目前已完成 9 类 40 余种“控制数据字典”的整理与应用。

（1）建立通用控制系统字典

包括通用字典的设备大类、设备子类、设备通用名称与编号；工艺系统划分、监测点、检测控制内容。通用控制用术语，包括集控类、检测类等。例如：控制监测点字典，包括为确认监测点而设置的辅助设备字典、零部件字典、空间位子字典。

检测控制内容分类字典，为确认检测内容而设置的工艺参数字典、报警类型字典、控制信号字典、状态参数字典。

（2）建立厂用控制字典

常用控制字典，主要约定选煤厂专用的名称、类型等具体内容，包括：在通用设备字典基础上建立厂级自用设备字典。

厂用工艺系统划分字典，对选煤厂所属工艺系统进行子系统定义，用于划分控制数据归属，以及后续分系统控制策略的编写。

厂区位置字典，划分视频检测、测温等检测点而设置。

配电室字典，为全厂配电室建立统一账户编码。

2.管理数据的字典体系

标准管理数据字典系统是管理数据标准化的关键，已建成“管理数据字典”17 大类 80 余小类。分类目录见表 1，管理字典系统目录见图 1。

管理数据字典也分为通用与专用字典，专用字典可继承通用字典的内容，也可以在通用字典项下添加厂级专用项。

3.元数据体系研究

控制元数据已完成哈尔乌素与准能两选煤厂 10 车间已有控制点的起停车、保护报警、环境检测、工艺参数检测、视频监控、安全检测等近 50000 条元数据收集整理，并由此提炼出控制字典。

管理元数据有 10 车间、11 个智能部门整理的数据库和元数据，目前已经整理的约 1500 条。

	中文标签	英文标签	下位机IP地址
1	614煤泥水泵出口界面	614_slime_pump_outlet_interface	84.19.45.170
2	3319加压过滤热值煤泥	3319_filter_caloric_Slime	
3	414加压过滤旁路	414_filter_bypass	84.19.45.50
4	635煤泥水泵出口界面	635_slime_pump_outlet_interface	84.19.45.170
5	634煤泥水泵出口界面设定	634_slime_pump_outlet_interface_set	84.19.45.170
6	3319加压过滤解锁	3319_filter_unlock	
7	615煤泥水泵界面设定	615_slime_pump_interface_set	84.19.45.170
8	4317入料泵旁路	4317_pump_bypass	84.19.45.125
9	4331B煤泥水泵解锁	4331B_slime_pump_unlock	
10	4332A煤泥水泵解锁	4332A_slime_pump_unlock	
11	3319加压过滤小时	3319_filter_hours	84.19.45.111
12	3315B浓缩机总累计	3315B_thickener_sumtotal	
13	414加压过滤小时瞬时	414_filter_hours_instant	84.19.45.50

图 2 为煤泥水系统控制元数据示例

4.数据接口研究

数据统一通过 Url 方式 API 对外提供数据服务，接口 API 通道通过标准数据管理平台可进行查询。图 3 为读取集控系统历史数据的 WebAPI 接口，可自定义要读取数据的点位名称和起止时间段。各数据库通过标准数据平台提供的接口，实现数据间的互通共享。各存储数据库均可按要求实现数据备份。

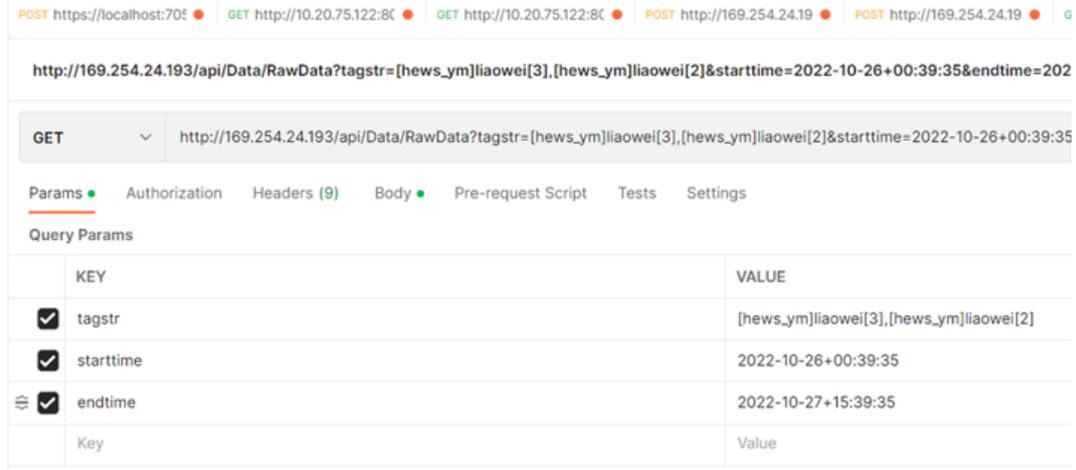


图 3 读取集控系统历史数据的 WebAPI 接口

5.数据存储与调用机制研究

数据存储是指在元数据表中指向的数据存储空间和地址中，各元数据的数据值的存储。控制类采样时序数据库存储，见图 4。管理类数据以关系型数据库存储，按数据属性与类别建表。图 5 是关系数据库的结构。

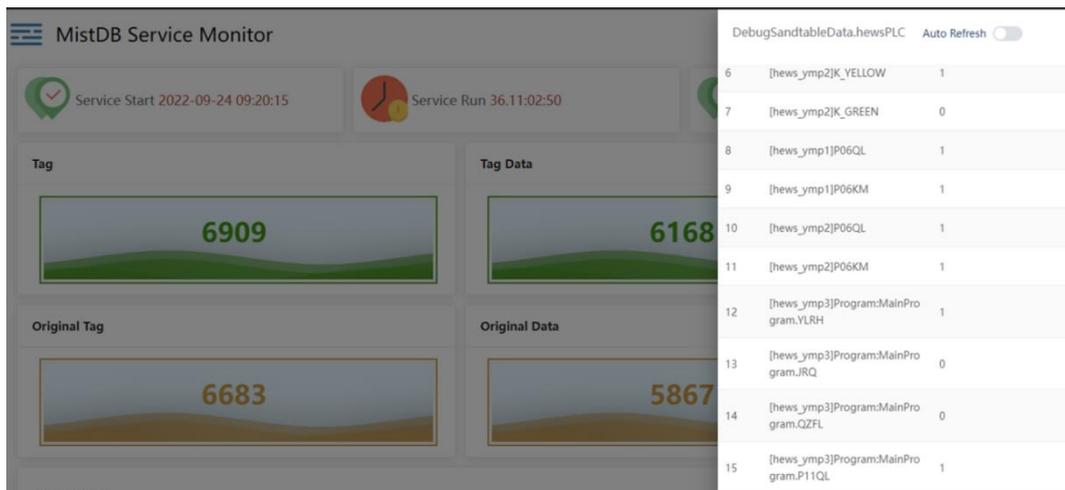


图 4 控制类采样时序数据库存储

	id	clsid	sysid	devid	eqcode	no	name
1	10000000	10135	6533	NULL	000000000010005614	NULL	错误设备
2	10000001	10135	6533	NULL	000000000010005615	NULL	错误设备
3	10000002	7340	6541	NULL	000008200000240600	NULL	煤泥泵
4	10000003	10197	6540	NULL	000008200000240601	NULL	煤泥离心机-1
5	10000004	10196	6540	NULL	000008200000240602	308C	煤泥离心机308C
6	10000005	10196	6540	NULL	000008200000240603	308D	煤泥离心机308D
7	10000006	7340	6507	NULL	000008200000240604	336C	煤泥离心液泵336C
8	10000007	7340	6541	NULL	000008200000240605	NULL	煤泥离心液泵-2
9	10000008	7313	6501	NULL	000008200000240606	328	煤泥收集刮板输送机（328）MXGZ-1400 L=11.65
10	10000009	7340	6541	NULL	000008200000240607	NULL	煤泥水泵-1
11	10000010	7340	6521	NULL	000008200000240608	306C	306C煤泥水泵
12	10000011	7340	6521	NULL	000008200000240609	306D	306D煤泥水泵
13	10000012	7340	6541	NULL	000008200000240610	NULL	煤泥水泵-4
14	10000013	7313	6540	NULL	000008200000240611	327C	煤泥转载刮板输送机（327）MXGZ-1400 L=13.2M
15	10000014	9477	6510	NULL	000008200000240612	HZ002	密封锤式破碎筛分机HZ002
16	10000015	9477	6510	NULL	000008200000240613	HZ003	密封锤式破碎筛分机HZ003
17	10000016	9477	6505	NULL	000008200000240614	HZ001	密封锤式破碎筛分机HZ001

图 5 关系数据库的结构

6.标准选煤数据管理系统软件编制

“选煤标准数据系统”的建成是选煤界数据标准化的典范，为选煤厂全面数据治理提供了范例，为后续智能化的深入打下基础，为后续选煤厂数据分析与决策做好准备。图 6 为标准选煤数据管理系统软件架构。

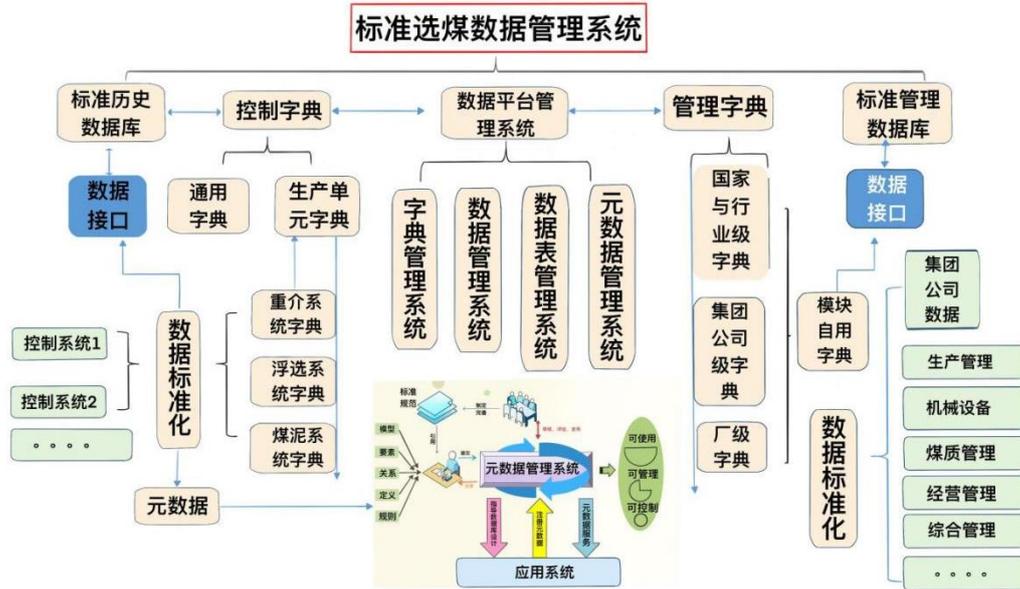


图 6 标准选煤数据管理系统软件架构

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

- 1.实现了选煤数据标准化、集成化、资源化管理。
- 2.选煤数据实现互联互通，共享共用，消灭选煤数据孤岛。
- 3.标准化数据字典使得选煤数据在智能化系统中以唯一身份代码流转、为编

程和查询提供方便。

4.标准代码设计时，考虑了数据自下而上的统计需求，为日后选煤产量、质量、技术参数的厂级、集团级、国家级统计做好准备。

5.系统设计时就考虑了行业通用性、也兼顾了厂级使用的专用性。可供集团公司管理和选煤厂两级同时使用。

6.与集团公司统建、自建 MES 系统的数据实现对接，与标准选煤数据字典关联，并遵循国家能源集团主数据标准。

（二）适用范围

本项目适用于集团公司、信息化管理部门与选煤厂智能化建设项目的数据治理与数据服务。

（三）先进性与成熟度

本项目是国内首次完整规划的集团、选煤厂两级控制数据与管理数据的全面集成、标准化、资源化工作，并在选煤厂智能化建设过程中完整得到实施，为智能化基础平台建设提供借鉴样板。

三、智能化建设成效

“准能选煤厂两级标准选煤数据库及管理系统”建设为选煤厂智能化建设奠定了数据基础，让全厂选煤数据方便使用，做到一站检索，元数据让数据所有者和使用者方便查找。一站盘点，数据集合让数据所有者了解自己的数据家底。一读就懂，标准标签让多数人认识数据的含义。标准接口，方便数据调用，即查即用。全面共享，多源数据互通，解决数据孤岛问题。持续共用，为后续智能化进展与大数据分析打下基础。

案例 74 骆驼山洗煤厂关键设备故障监测与预测性维护系统

主要完成单位：国家能源集团乌海能源有限责任公司

一、主要建设内容

（一）项目背景

现阶段洗煤厂的设备一般都具备比较完备的自动化控制系统，能够实现远程自动启动或自动停机的联锁控制。但是随着选煤智能化的推进，要求“少人化、无人化”成为洗选智能化的目标。但现阶段洗选设备自动化控制系统缺乏对洗选设备运行状态的密切监测，对表征洗选设备运行的重要参数如温度、关键部位的振动数据等并没有监测，设备的早期故障很难及时发现。设备维护一般都采用定期检修或事后维修。对于重要设备，一般是安排人员定期现场巡检，手工书面记录设备运行参数。由于人员素质、检测手段等因素，在巡检任务的监管、检测的准确性、数据档案管理的便捷性都存在很大问题，很难满足设备精益管理要求。

关键设备故障监测与预测性维护系统，对旋转类机械设备进行智能监测与故障诊断，采用无线振动和温度监测装置对设备关键部位温度和振动频谱进行分析，提前发现设备底座松动、不对中、基础松动、不平衡、轴承损坏、齿轮箱损坏等故障，弥补自动化系统的不足，做到预测性维修，将参数记录电子化、故障诊断信息化，降低维修成本，提高管理效率，减少非计划停机时间。

（二）建设情况

该系统综合运用工业互联网、无线通信、智能传感、云技术，开发了基于大数据的选煤厂关键设备在线监测与预测性维护系统，应用于洗煤厂的皮带机、离心机、煤泥（混料）泵、振动筛、空压机等主要设备。

研发高精度、宽频带的无线振动温度监测器（传感器）（图 1），对洗煤厂设备关键部位的振动频谱和温度进行在线检测与分析，采用压电式加速度芯片作为振动信号的核心采集芯片，以及高精度温度采集芯片、无线传输模块以及高速 A/D 转换芯片等，研究并构建了该采集器的工作原理框架，通过设计各个核心芯

片之间以及芯片与模块之间的电路，使得采集器能够对设备关键部位的振动和温度进行数据的采集与传输。



图 1 为无线温度振动传感器

开发基于 B/S 架构的选煤厂设备在线监测与预测性维护云平台软件，具有云端数据分析（图 2）、存储与移动终端呈现功能的远程数据管理平台。数据平台采用大数据分析功能，对设备的运行数据进行分析，进行精确故障诊断并得到轴承振动等关键参数的历史趋势，为用户维修提供决策依据。研究洗煤厂旋转机械设备的故障特征参数和特征频率，对设备进行状态评价，做到预测性维修，降低维修成本，提高管理效率。

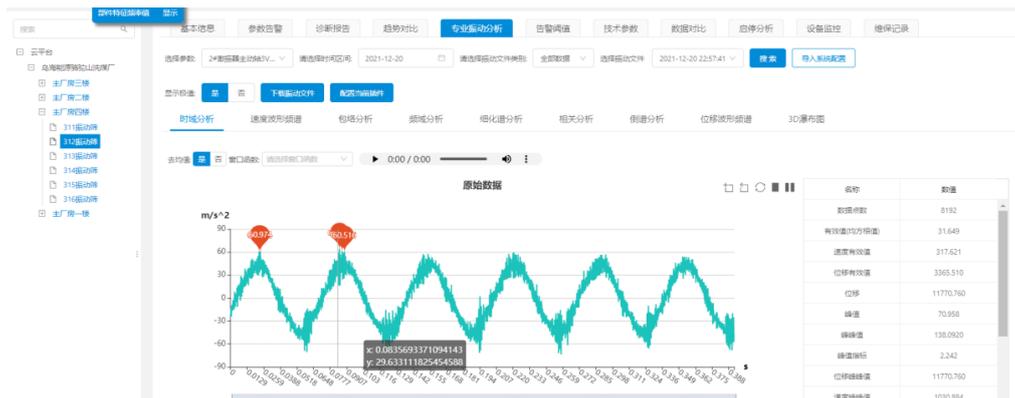


图 2 为系统数据分析界面

本系统可实现选煤厂机电设备早期故障进行预警和预诊断，提高设备管理效率，降低设备操作人员的劳动强度，保障安全生产。采用“设备管理+互联网”的模式，构建了旋转类设备运行数据采集与网络传输的通道，建立了设备在线监测和智慧化管理的信息化体系，为建立选煤厂智能化提供了底层信息技术支持。

二、技术特点及先进性

关键设备在线监测与预测性维护系统是将新一代信息技术应用于选煤厂生产设备健康管理信息化，建立设备全生命周期的数据管理与分析，实现选煤厂安全生产、设备可靠工作、管理更加便捷。系统可以实现被监测设备当前运行状态的判断和未来状态的预测，可定位故障部件、分析故障根因、监测故障劣化趋势、评估故障部件剩余寿命。

将振动温度一体式传感器安装在机电设备的轴承部位，在线监测设备的动态振动波形和温度数据，被监测的机电设备为选煤厂的关键设备，包括水泵、振动筛、皮带机、离心机等设备；系统可以实现对上述设备的故障诊断，包括：基础地脚松动、结构松动、结构共振、刚度不足、不平衡、不对中、松动、共振；轴承内外圈剥落、滚动体剥落、保持架刮擦、断裂、轴电流、轴承动静磨碰；齿轮齿面磨损、齿面胶合和擦伤、断齿等。

关键设备在线监测与预测性维护系统可以实现机电设备的健康管理，可有效的降低设备维护力度，降低设备维护实际工作量，通过数据实现对设备进行预测性维护，从而实现机电设备维护工作效率高、成本低等目标，并且有效的提高机电设备的实际使用率，从而增加企业的经济效益。

三、智能化建设成效

（一）经济效益

1.对选煤设备的故障进行预诊断，预测性维修可以减少计划外停机时间，每年减少经济损失 200 万元；

2.采用故障预诊断系统，及时发现处于萌芽状态的设备故障，以检定修，避免设备严重损坏，每年减少设备维修费用 150 万元；

3.减少了洗煤厂设备管理人员数量，提高了管理效率，减少了工作人员的劳动强度，每年减少人员支出费用 20 万。

（二）社会效益

1.采用“设备管理+互联网”的模式构建了洗煤厂关键设备运行数据采集与网络传输的通道，建立了选煤设备在线监测和智慧化管理的信息化体系，为建立

智慧选煤和智慧矿山提供了底层信息技术支持；

2.本系统对选煤厂关键设备早期故障进行预警和预诊断，提高设备管理效率，降低设备操作人员的劳动强度，保障安全生产，在整个煤炭洗选行业内极具推广价值，并很强的带动示范效应。

案例 75 神东选煤厂智能决策系统

主要完成单位：国能神东煤炭集团有限责任公司

一、主要建设内容

神东洗选中心积极落实两化融合相关政策要求，加快煤炭工业数字化转型，推动煤炭清洁高效利用和高质量发展。煤炭洗选加工作为煤炭产业链的重要一环，紧跟时代发展的步伐，加快数字化转型，推进选煤厂智能决策系统建设，为集团和整个煤炭行业的产业升级发挥引领示范作用。

洗选中心上湾选煤厂是一座特大型现代化矿井型选煤厂，位于陕蒙交界处的神府东胜矿区伊金霍洛旗乌兰木伦镇上湾村，隶属神东煤炭集团洗选中心，主要承担上湾煤矿的原煤洗选加工任务，于 2000 年 6 月投产，现处理能力达到了 14.0Mt/a，主要产品为块煤、特低灰、混煤。

（一）建立基于定制精准生产的智能决策系统，形成选煤厂智能化建设的“大脑”

以生产运营数据为基础，以用户需求及效益最大化为目标的亿吨级特大型选煤厂群生产智能化决策系统，实现了对各选煤厂生产组织、工艺参数和作业成本进行智能调配与管理，达到了精准定制生产的目标。构建了包含原煤煤质数据、生产工艺、作业成本、产品预测、产品价格和经济效益等在内的生产数据库；建立了包括临界收益模型和盈亏平衡模型等在内的生产评价模型库；根据用户需求和效益最大化原则，在数据库和模型库基础上，以选煤知识库和人工智能算法库为指导，通过决策支持的协同智能管理各选煤厂的生产组织、工艺参数和作业成本，实现了精准定制生产智能决策。

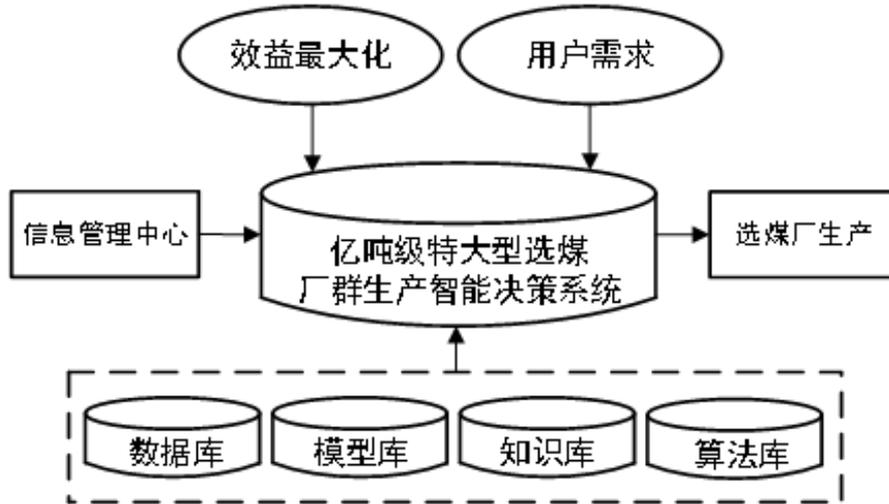


图1 生产智能决策系统图

（二）打造选煤厂全流程智能控制生产线，实现生产系统各环节的动态协同。选煤厂工艺系统实现了筛分破碎、分选系统、煤泥水系统和配煤装车系统的全生产链条联动智能控制。控制数据和工艺数据均能实现索引和互通。

1.生产系统一键切换

通过改造系统内闸板控制方式、建立生产方式自动切换控制模型，实现了不同生产方式的快速切换。根据生产需求自动改变煤流走向、实现闸板开度的量化控制、明确显示生产系统的生产方式和状态，极大提升了生产系统自动控制水平。

2.智能原煤系统

实现了原煤数质量的实时监测、趋势判断、精准计量，根据下游工艺环节的需求精准调节煤量和质量；同时可识别煤流中的异物并报警。

3.智能分选系统

根据原煤质量、密度组成、分选产品质量等历史数据，结合生产中原煤、精煤、矸石的实时数质量、精煤灰分设定值等数据，建立实时悬浮液密度预测模型，实现悬浮液密度随原煤煤质变化自动设定，根据产品实时灰分反馈调节循环悬浮液密度设定值；建立的悬浮液密度调节控制模型，智能控制合介分流、补水和介质添加，实现循环悬浮液密度、液位、煤泥含量、压力的稳定控制，最终实现了智能分选。

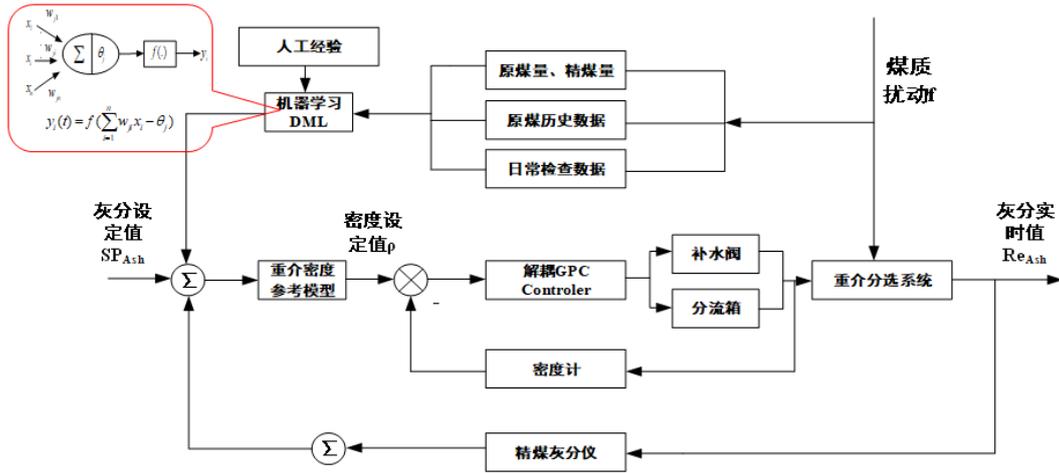


图 2 重介质分选控制参数的实时智能给定

4.智能加药系统

实现浓缩机智能化加药系统及运行参数在线监测，实时监测浓缩机入料浓度、清水层高度、药剂流量数字信息，为选煤厂智能化管理提供科学依据，技术参数在调度室上位机保存，实时查看，可以实时调阅分析，应用数理统计原理进行数据分析，获取管理信息。

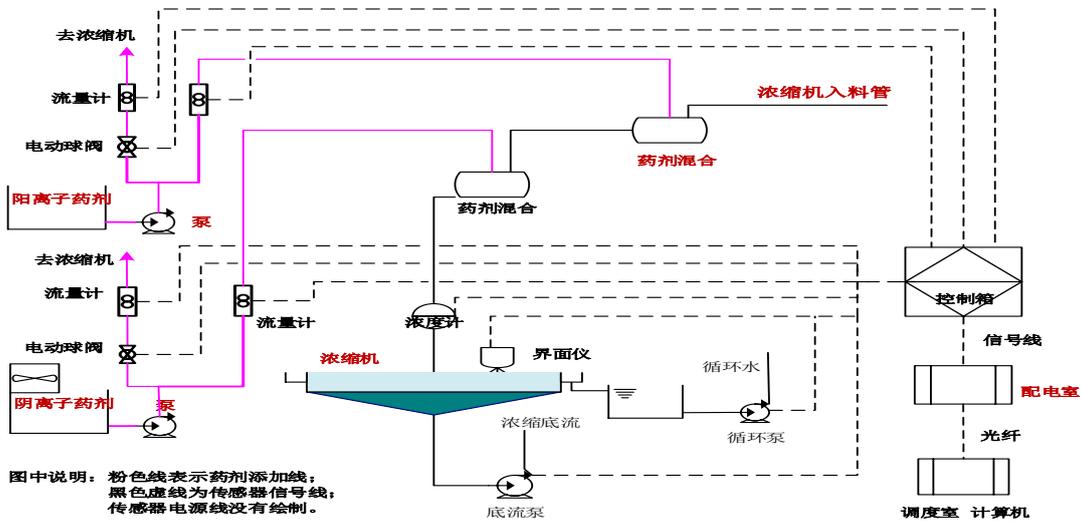


图 3 煤泥水智能加药控制系统

5.智能装车系统

通过专用的传感器技术采集料仓、配煤、火车等全部数据，通过深度学习，给出配仓方案、配煤方案，控制火车及装车系统动作，实现精准配煤与无人装车。

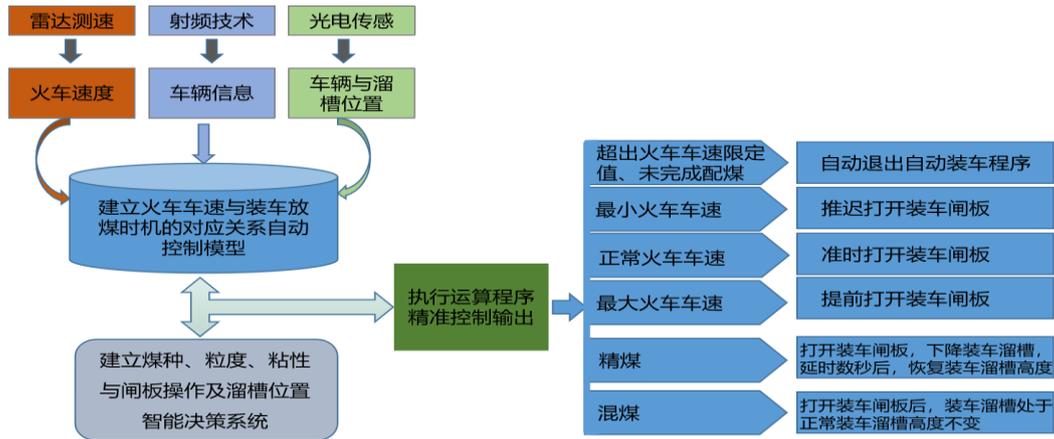


图 4 智能装车系统模式

（三）实现生产设备故障智能诊断，保障系统高效运行

1.设备全寿命周期管理

主要依托设备在线监测、巡检机器人、智能视频等装置对设备进行在线监测，通过中继器将数据上传至服务器，通过关联 ERP 设备 BOM 数据、维保日志和设备健康管理标准，形成设备全寿命周期管理模型，智能推送至包机人，通过智能润滑或调整生产等方式消除设备隐患，为设备运行提供技术支撑。

2.设备故障管控

当设备发生故障时，系统触发故障标准数据工单，将故障原因和处理意见智能推送至当班责任人，责任人通过现场实时视频确认并处理故障点，形成故障整治闭环管控。

3.设备任务管理

建立设备任务管理标准数据模型，按照任务属性、工作类别形成代办任务，智能推送至责任人，做到设备高效维护、闭环管控。

（四）依托集团公司云网底座，打通了选煤厂智能决策系统的数字高速公路

依托集团统建构建了一套适用于选煤厂数字化转型需求的数据底座，主要包括统一数据标准、数据接入与存储、算力与算法集成和数据应用。

1.统一数据标准

依托集团及公司的云网底座，建立选煤智慧工厂的内部通讯网络。底层控制器实现单机控制器之间的信号索引、互通以及底层数据传输协议标准的统一；在选煤厂厂内建立适合各类仪表及传感器的通讯网络，上行可实现 5G、4G、以太

网传输，下行可满足 Zigbee、433MHz 无线通讯、lora、WiFi、标准 MODBUS TCP 协议要求，满足大容量数据传输和数据安全需要。

2.数据接入及存储

以集团及公司云网底座为基础，建立数据服务接口平台，将底层数据按照统一标准上传至公司数据仓库，建立规范统一的数据流转路径。

3.数据应用管理

按照选煤厂的业务特点，设计数据应用统一架构，各业务模块实现权限管理，实现业务联动和数据多样化展示。

设置基于业务的专职数据分析师，从“用”的层面拓展和深化应用场景，优化、整合、精简数据模型，以结果和应用为导向，形成基于应用的数据治理和算法优化管理体系。

二、技术特点及先进性

1.多维度协同的煤炭灰分在线精准感知技术。提出了以灰分在线智能校正为核心的多维度灰分仪检测优化方法。采用三点接收模式，对煤流横截面上不同点进行测量；将干扰因素在模型中进行去噪运算；采用基于布谷鸟搜索的模糊最小二乘支持向量机算法进行灰分仪数据在线校正。

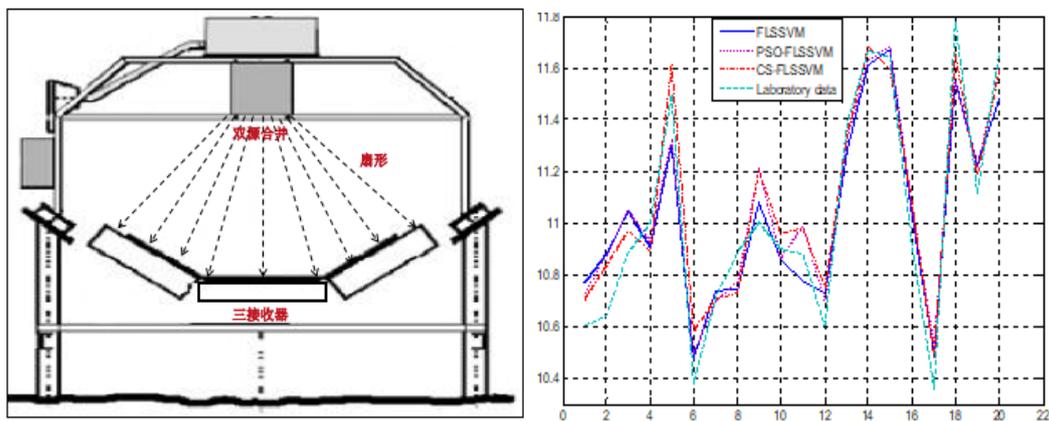


图 5 多维度协同的煤炭灰分在线精准感知技术

2.煤泥水处理相界面在线精准感知技术。开发了浓缩机煤泥水沉降相界面在线精准感知技术。采用超声波测量煤泥沉积界面的高度，当超声波由一种介质射入另一种介质时，由于在两种介质中的传播速度不同，在异介质面上会发生散射、折射和波形转换等现象；超声波监控能准确显示清水层高度指导煤泥水沉降

过程，实现了浓缩过程实时动态检测，保证了煤泥水系统的在线精准感知。

3.煤泥水粒度在线精准感知技术。通过自动采集及分析煤泥水各环节样品的浓度及粒度组成，为压滤机参数调整和浓缩池加药控制提供依据、实现脱水设备异常报警，提高了全流程数据综合诊断能力。

4.煤泥水处理智能控制技术。开发了基于煤泥水浓缩过程入料特性与固液界面协同的智能化加药控制系统。实时监控煤泥水处理系统技术参数数据，通过对煤泥水入料进行分析的基础上生成药剂添加量的前馈模型；以超声波发射源获取浓缩机内煤泥水清水层界面，实时准确检测煤泥水浓缩过程的真实状态，反馈优化药剂制度，形成入料特性与浓缩装置界面参数协同的控制策略，实现煤泥水浓缩系统稳定运行。

5.重介质分选智能控制技术。开发了数据驱动的煤炭重介分选控制参数在线实时智能整定与精准控制技术。构建了包含原煤和商品煤质量数据、历史分选参数数据、选煤专家知识数据在内的重介分选智能控制数据库；建立了产品质量与分选密度之间的反馈控制模型，实时给定分选密度，并通过大数据分析和数据挖掘，构建了分选密度的预测和优化机制，实现了重介质分选过程参数在线智能给定与优化。

6.智能化装车技术。研发了基于原有工程基础升级改造的智能装车系统，实现了智能化的快速装车控制。

三、智能化建设成效

1.建设打造了智能装车、智能分选等精品项目 12 项，参展煤展会、智能化论坛等各类会议及活动 30 余次。3 项技术达到国际领先水平，3 项技术达到国际先进水平。自主创新关键技术 100 余项，为打造中国选煤工业智能升级版贡献了力量。

2.智能决策系统取得的相关成果促进了行业技术进步，相关技术引起了同行专家广泛关注，先后有百余家企业前来参观交流。通过项目成果的技术交流，分享智能化建设经验，对行业内选煤厂智能化建设具有重要的借鉴意义。

3.组织架构得到优化变革，按照“精干高效、智能驱动”的原则，优化岗位

设置及职责，将生产一线岗位人员进行了优化和转岗，向“小岗位、大检修”转变，依托大数据智能分析执行系统，实现扁平化管理。

4.员工职业健康和安全管控水平明显提升，促进了社会稳定，项目成果的应用能够大大减少现场操作人员、有效降低劳动强度、大幅提升工作效率，将生产一线 30 名岗位人员进行了优化和转岗，为安全生产提供了有力保障。

5.通过智能化子项目的建设，选煤厂电能消耗持续降低，生产效率有效提升，煤质稳定率大大提高，员工接触煤尘、噪声的时间缩短，职业病发病率持续降低，全员工效逐步提升。

案例 76 金鸡滩煤矿快速定量智能化装车系统

主要完成单位：山东能源兖矿能源集团股份有限公司

一、主要建设内容

金鸡滩煤矿原有定量装车系统为人工操作装车，装车系统仅局限于定量配煤自动化，存在撒煤、人车配合不到位的情况，易出现溜槽磕碰、撒煤、超偏载等现象，所需岗位人员较多，职工劳动强度大。基于上述问题，金鸡滩煤矿以智能化建设为契机，通过增加软、硬件系统，对现有汽车定量装车系统智能化改造。

（一）智能汽车快速定量装车系统

通过激光雷达动态采样，对车辆车体平面、落料区域、车前栏板、料位情况、装载设备状态等进行分析，实现车厢边缘和料位高度、溜槽位置、车厢挡板、落料位置的摄像头检测，精确控制皮带、给煤机启停、语音实时提醒卡车司机前进、后退，实现汽车自动装车、无人化指挥、无人化操作。

（二）智能汽车快速定量装车系统模块

智能汽车定量装车系统分为以下 4 个模块：

1.“刷卡”模块。传统的车辆信息传导通过刷卡的方式，而智能汽车定量装车系统需要与现场原有任务的管理系统进行数据对接，获取卡中记录的车号、用户、煤种、皮重等信息，以便装车；该模块能将智能汽车快速定量装车系统的数据存入卡内，形成数据交互，避免信息孤岛。

2.车厢规格检测模块。车厢定位是装车系统最关键的技术，是实现精准装车的基本条件。智能装车升级改造通过采用激光雷达和信标定位监测装置，如图 1 所示，测量得到车厢的长度、宽度、高度等尺寸。



图 1 信标定位检测装置

3.装车任务确认模块。任务确认是指当车辆到达装车站时，智能装车系统将确认装车信息，可得到车号、用户、煤种、车型、皮重等信息。系统在获取车辆信息后，具备以下功能：

（1）判断是否为合法车辆，如装末煤的车运行到块煤装车站下，即被判断为不合法车辆，则系统不执行自动装车操作并发出报警，此时提示车辆和远程监督人员；

（2）根据车型、皮重信息可以得到该车对应的装载目标质量，系统将对接定量系统，自动设定配重，启动定量系统；

（3）根据信息分类进行数据储存和统计分析，留存装车过程数据。

4.装车指挥模块。为确保人机良好配合，使用 LED 大屏、对正限位杆、语音自动播报、红绿灯指示 4 种指挥方式，系统可实现无人化指挥。

（1）LED 大屏。在装车通道前方安装 1 台立式的 2m×2m LED 大屏，显示当前装车影像、装车进度数据以及“前进、停车、倒车”等行车指令，确保卡车司机能充分获悉装车过程信息，自动配合系统完成装车。

（2）对正限位杆（图 2）。在装车通道的地面上，以装车溜槽为中心线对称设置悬挂且可活动的限位杆，卡车司机可根据限位杆的指示摆正车辆并进入装车站，保证溜槽处在车厢中心线上，避免偏装、撒煤。



图 2 对正限位杆

(3) 语音自动播报。在装车通道安设防水音柱，系统根据激光雷达建模数据，自动进行语音播报，向卡车司机传达“停车、前进、减速、装车开始、装车结束、系统故障”等语音指令，实现智能化少人化指挥。

(4) 红绿灯指示。在 LED 大屏侧边安装红绿灯，如图 3 所示，红绿灯接入智能汽车快速定量装车系统，使其与语音、文字发出的指示保持一致，红灯代表停车，绿灯代表前进或装车完成。



图 3 LED 指挥引导大屏及红绿灯指挥系统

(三) 智能汽车快速定量装车系统设备控制

智能汽车快速定量装车主要包括对以下 3 个部分的控制：

1.溜槽控制。溜槽在装车时降落，装完后升起，不同的车厢规格、载重质量，其溜槽高度均不同。为此，溜槽控制与车厢规格、位置、载重信息直接相关，通

过建立溜槽动作模型，使每种车厢规格分别对应 1 个模型；通过雷达对车辆的规格尺寸进行检测，进而从模型库中调用正确的模型，并执行装车控制。

2. 闸板控制。卡车司机刷卡后，智能汽车快速定量装车系统自动启动，闸板自动开启。根据不同的堆料高度，闸板开度可自动进行相应的调整。

若装车期间出现车辆未按照提示移动、车速过快或过慢、中途异常报警等现象，系统中将自动关闭闸板，保证装车不撒煤、不偏装，实现安全高质量装车。

3. 给煤机、输送带控制。改造前的给煤机、输送带这部分控制由装车岗位的工作人员来控制，改造后的系统自动控制，可根据缓冲仓料位，实现设备自动启停、调节和逻辑闭锁。

4. 装车过程检测。装车过程主要的检测传感器包括激光雷达、激光测距仪、测量光幕、防水音柱、编码器、左右偏离相机等硬件，智能汽车快速定量装车系统硬件连接关系如图 4、图 5 所示；其中左右偏离相机、激光雷达、测量光幕主要用于对车厢进行定位、建模及料堆的监测，激光测距仪、编码器主要用于在溜槽伸缩位置对装车过程进行监测，从而实现车辆的精准定位及溜槽自动控制。



图 4 激光雷达检测装置

（四）智能汽车快速定量装车数据管理

建立智能汽车快速定量装车数据管理系统，实现对装车过程中用户、装车量等关键数据的统计，用图表的形式直观地展现装车情况，并将装车复磅率反馈回系统，快速掌握发运情况。建立智能报表系统（图 6），实现在集控室、办公室等

多个客户端可同时登录。报表数据统计包含剩余量报表、销售日报表、计划量报表、发运日报表、客户单位称重报表、称重报表等多个报表功能，报表具有数据防篡改功能，可实现自动上传。

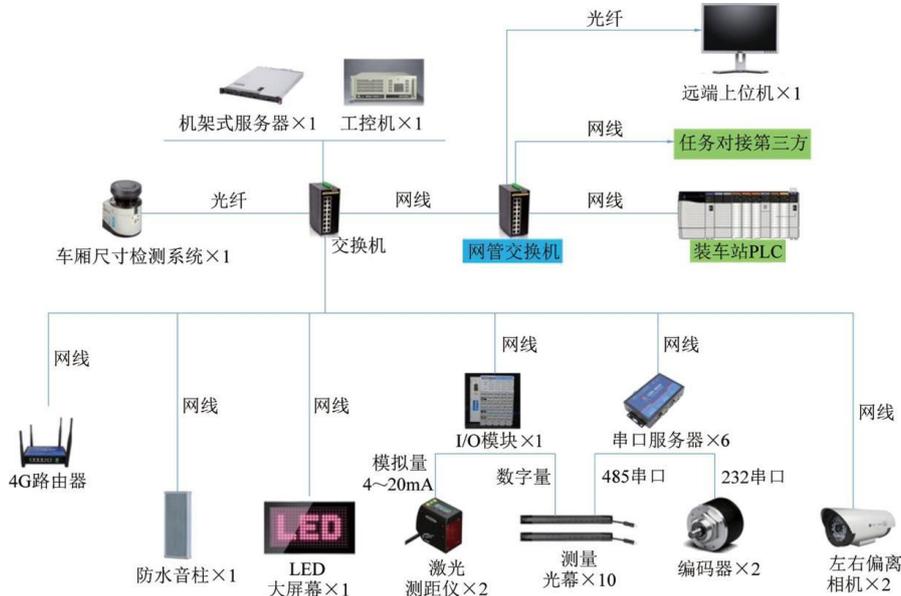


图5 智能汽车快速定量装车系统硬件连接关系



图6 智能报表系统

二、技术特点及先进性

1.车辆精准定位技术。采用国内先进的激光雷达技术，采集车辆数据、自动生成装车模型；通过信标对射激光方式，实时计算车辆位置，实现车辆精准定位。

2.煤流料堆实时检测技术。利用3D视频及雷达技术，检测车厢区域的物料堆型信息。装车过程中实时计算运载车厢内煤流信息，当车厢内的煤量达到上限时，通过指挥系统指导卡车司机进行装车，避免撒煤。

3.无人化指挥系统。通过语音指挥系统、LED 大屏、对正地标线，精确引导卡车司机，实现装车过程无人化指挥。

4.装车精准配煤技术。装车过程自动精准配煤，自动控制溜槽伸缩，自动控制闸板开度，通过缓冲仓、定量仓仓位状态及不同煤种的装车指令自动对上游给煤机、皮带机逻辑控制，实现装车系统与上游设备安全闭锁。

三、智能化建设成效

智能化升级改造后，装车系统利用车型检测、车辆定位、3D 料堆检测、机器视觉等先进技术，实现了智能化系统替代人工操作。智能装车系统常态化运行，提高了装车效率，提升了装车质量与安全性。

1.发运效率方面。车辆发运时间由原来 60 秒/车左右，提高到现在 45 秒/车左右，考虑车辆调度时间等富余系数后，按照每小时发运 60 车，每天发运 18 小时计算，单套智能装车站发运具备 35000 吨/天的能力。

2.人员节省方面。原系统每班至少需 1 名固定装车人员，升级改造后改为 1 名巡检人员，实现了现场有人巡检、无人操作。

案例 77 沙曲选煤厂重介智能分选系统

主要完成单位：华晋焦煤有限责任公司

一、主要建设内容

沙曲选煤厂重介分选智能化项目以“在线-智能-融合”为建设理念，运用中子活化瞬发伽马分析技术、X 荧光分析技术、天然射线探测技术，打造针对煤炭分类入仓、均质入洗、产品“三位一体”的煤质实时在线检测分析系统，实现重介分选全流程煤质数据透明化。建立入仓原煤自动识别系统，实现入仓原煤质量数据实时动态检测，根据煤质、煤量、仓位情况实现智能布料，构建基于多源数据的实时可视化仓储；建立入选原煤自动配煤系统，实现原煤入选的自动调整，稳定入选原煤煤质，降低入洗原煤煤质波动，为重介分选提供合适的悬浮液密度调整策略，保证重介分选过程稳态化运行，力求精煤产率最大化；攻克精煤灰分、硫分高精度在线检测技术难题，为实现智能分选提供精准的检测基础。

建立重介旋流器压力闭环控制与重介分选桶位平衡控制，通过对重介系统全流程的数据检测分析，采用“PID+模糊规则”控制算法，建立悬浮液密度调控模型，实现分流、补水快速精准控制。同时，基于选煤厂两产品主、再选工艺，创新性地实现了浓介质快速精准添加智能控制，在主选车间设置浓介桶、浓介添加渣浆泵，根据主选分选密度偏差、合介质桶液位等数据，通过控制渣浆泵、管道阀门等，实现快速调整分选密度偏差的控制目的，解决重介系统非线性、高耦合、长延时的问题，最终保证悬浮液分选密度控制精度小于 $\pm 0.005\text{g/cm}^3$ 。

建立重介分选介质净化全流程检测与智能控制系统，通过检测与控制混料桶、合介桶、煤泥桶和磁选机等液位、浓度、密度、阀门开度等关键参数，实现对介质回收环节检测与控制及扫地泵智能控制功能；优化脱介筛喷水管理，实时监控磁选尾矿中磁性物含量，优化磁选机运行工况，减少磁选机尾矿带介量。对容易出现跑介的环节及介质回收环节进行检测与控制，以减少介质损失，降低介质消耗。

结合重介精煤灰分的高精度在线检测数据，采用“密度前馈+灰分反馈”的控制方法，创建基于灰分实时数据的重介分选智能动态寻优控制规则，建立基于原煤煤质与精煤灰分的数学分选模型，实现重介悬浮液密度的智能调整。

二、技术特点及先进性

1.研发适应选煤厂运行环境的高精度煤质在线检测分析系统，获得高精度灰分在线检测，为基于重介精煤灰分重介悬浮液密度智能调整奠定基础。同时实现煤质多元数据高精度测量，为煤质分类和介质消耗实时监控提供手段。

重介分选系统重介精煤安装中子活化多元素分析仪，分析仪采用中子活化瞬发 γ 分析(PGNAA)技术。该灰分仪对重介精煤灰分进行高精度检测的同时，不受煤质变化和现场工艺变化的影响，能够长期可靠运行。同时，应用重介精煤智能采样制样系统，对样品进行预处理，处理后样本再进行煤质分析。

上述高精度煤质分析仪系统，通过现场工业性试验，取得良好的检测效果，检测效果得到国家权威认证机构的确认。该系统的成功开发，为原煤均质化和重介分选智能化奠定了重要的检测基础。

2.以煤质多元素分析仪多元素在线检测数据为依据，实现实时在线煤质分类，研发并实现多煤源的原煤智能分储，为原煤均质化创造条件。

通过煤质识别技术，实现煤质有效识别并设计分储控制系统，依据煤源、煤质实现分储，再以可选性曲线为基础，构建不同煤质配比与重介分选密度的数学模型，以此为依据，通过设计配煤系统，实现煤质均质化处理，为重介分选创造有利条件。

3.研发以重介悬浮液密度、煤泥含量智能控制为内环，基于重介精煤灰分重介悬浮液分选密度自设定为外环的智能控制系统。智能控制系统融合 SPC 分析技术，提高控制系统的稳定性，取得了显著的控制效果。

建立基于 PID 控制的补水阀开度控制和基于智能控制算法的分流阀开度预测模型，从而实现自动补水、自动分流和自动补介功能，进而保证悬浮液密度在设定值上下波动范围不超过 $\pm 0.005\text{g/cm}^3$ ，同时，将磁性物含量计和密度计测定的数据接入智能分选系统，实现悬浮液煤泥含量的软测量，配合密控系统分流阀和

补水阀的调节，从而进行分选过程中煤泥含量的调整，优化悬浮液组成，避免煤泥含量不正常对于重介分选效率的影响。

针对选煤厂实际情况，基于人机交互模式，建立基于煤质自动识别系统的煤质判断和重介悬浮液密度优化设定模型，同时采集重选精煤煤质数据，采用统计过程控制方法（SPC）进行产品质量预测，二者结合实现悬浮液密度值的自动设定。同时，结合重介分选过程悬浮液自动补水、自动分流和自动补介功能，构建适应煤质波动和变化的重介悬浮液密度智能控制系统。

为保证重介分选过程智能化的完整实现和实现稳、快、准的控制目标，本项目进行了补介环节的工艺创新设计，增设了浓介储备与自动控制系统，为重介分选密度及桶位的快速智能调节奠定了基础。

三、智能化建设成效

本案例通过在底层自动化基础上开发，采用自动化、智能化控制，实现自动补水、自动分流和自动补介，让算法、机器代替人来做重复、繁琐的工作，改变了操作人员需要频繁操作的状况；同时，密度智能控制，桶位平衡控制，介质回收监测与控制等智能化系统的实施，减少了现场冒桶、跑介等现象的发生，改善了现场的应用环境，降低了现场工人的劳动负荷强度，增强了安全系数，让劳动者的负荷、安全、健康都得到了极大改善。

重介智能分选系统提升了选煤厂重介分选系统智能水平，保障了重介精煤产品质量，提高了总精煤回收率，实现了生产效率、效益双提升。经测算，重介精煤回收率提高 1%以上，按入洗 5.0Mt/a 计算，每年可增加销售收入 6000 余万元。

案例 78 鱼卡一号井智能化选矸系统

主要完成单位：青海省能源发展（集团）有限责任公司

一、主要建设情况

鱼卡一号井以前为人工选矸，生产工艺为井下原煤经过振动筛进、初步筛选后，筛上物通过下料槽进入手选皮带机，手选皮带机为平皮带，一用一备，长 38m、带宽 1.2m，人工手选选出块煤和矸石，人工手选模式选矸率为 40%。为了提高矸石选矸率 95%以上，将夹矸块煤选为精煤，需要将选煤楼选矸系统进行改造，改为智能化选矸系统。该系统通过 X 射线识别方法，针对入选原煤煤质特征建立与之相适应的分析模型，对煤与矸石进行数字化识别，通过高压风系统将煤与矸石排出，实现精准分离。系统包括：入料缓冲、带式布料系统、智能识别系统、智能执行系统、敷设防护系统、电控系统、干选机智能控制系统、温控冷却系统、自动报警系统及智能干选机平台软件等系统，具有辐射监测和报警功能，故障分析功能，智能干选机通过接入工业互联网，实现远程控制。智能选矸系统技术参数：布置海拔 3200m，使用环境温度 0~40°，矸石处理能力 240t/h，入料粒度 50~300mm，处理效率大于 95%，识别系统选用 X 射线识别和图像辅助识别。

1. 主体改造

在筛分楼（图 1）二层平台拆除一条手选皮带、手选皮带机头溜槽、手选矸石溜槽，在此位置上安装智能分选机，在筛分楼一层平台拆除控制室围墙，拆除原矸石皮带机机尾，并前移 5m，施工一处深为 1.2m 的斜面，新铺设一条带宽为 800mm 的胶带输送机，安装一台双齿辊破碎机。

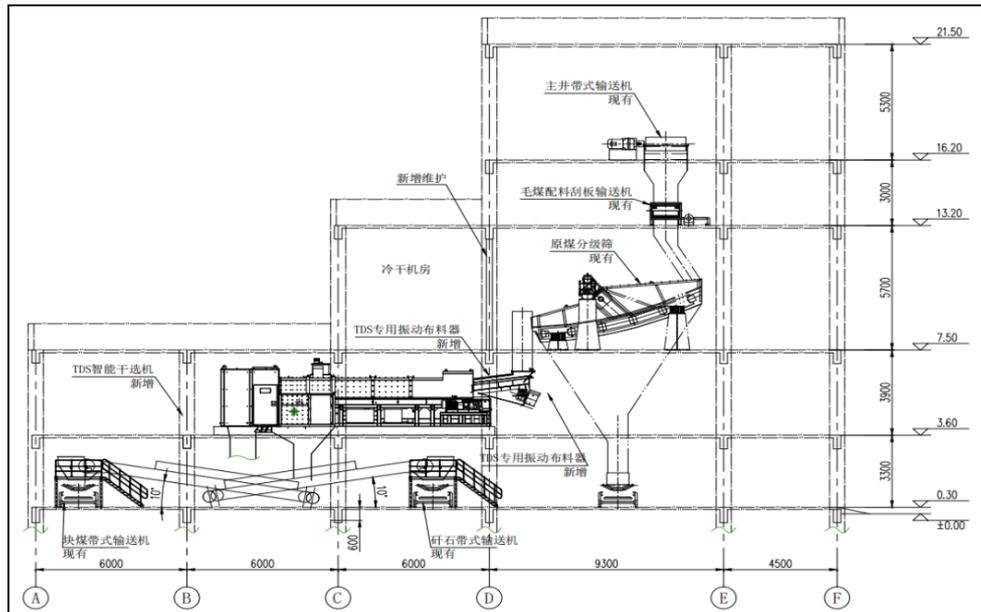


图 1 智能化筛分楼示意图

筛上物通过智能分选机后选出块煤，选出的块煤在干选机下部一层溜煤筒下安装一台破碎机，因高度限制，在一层处将块煤破碎后通过新铺设的皮带机运输至混煤皮带上，最后通过地下走廊皮带机统一运输至储煤场。

2. 入料缓冲、布料环节

在振动布料器入料端溜槽增设缓冲装置，下探调整振动布料器倾角，增加细粒度粉煤回收环节及智能化控制系统，进一步提高系统运行可靠性。

3. 智能识别环节

由于煤和矸石在物质组成和密度等性质方面有明显差异，煤与矸石识别系统选用 X 射线识别，可以利用 X 射线识别不同物质组成、不同密度和厚度的煤矸内部结构，将两者识别并加以区分，识别率高，矸石识别率需达到 95% 以上，不受到矸石颜色的影响。

4. 智能执行环节

利用双能 X 射线及可见光全光谱成像的“慧眼”，自动分析采集传送带上物料的图像，通过深度图像识别对图像进行分析、判断物料种类，准确控制高压风可处理 50~300mm 煤或矸石进行喷吹，完全实现了一键启动、无人值守、全自动式地煤矸分选，每小时处理量可达 240t，排矸率高达 95% 以上，具有智能化程度高、分选精度高、选煤不用水、生产成本低、绿色又环保等优点。

5. 敷设防护环节

X 射线装置为辐射装置，故设有 X 射线防爆箱和 X 射线探测器防爆箱，其安装于 X 射线防爆箱内并采用锁具封闭，并要求 X 射线防爆箱外壳四周辐射强度需低于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，低于国家标准。分选机内部设 X 射线在线监测系统，当 X 射线开启时，分选室顶部有单独的红色指示灯将亮起，正常生产或维修时进行人工检测时，配备手持式的射线检测仪，保证作业人员的安全。

6. 压风、电控系统

选用 2 台螺杆压缩机，按设置自动倒机使用，供风量 $50\sim 60\text{m}^3/\text{h}$ ，储气罐 10m^3 ，安装在压风机房内，距离选矸机 150m ，总管路配置两级过滤器、油水过滤器、干燥机，自动定时排除储气罐内积水，压缩空气的质量标准为 $1\mu\text{m}$ 、 1ppm 。

电机选用 6kV 高压供电，照明、控制回路采用 $380\text{V}/220\text{V}$ 电压等级，低压配电柜内断路器和接触器采用煤流线上大于 55kW 电机采用综合保护器进行保护，配电网电缆选用 ZR-YJV（YJV22）型电力电缆；车间内电缆沿桥架敷设，综合管网内电缆沿既有电缆沟或埋地敷设，配备随机易损配件。

7. 视频监控系统

智能选矸系统设置在线监测系统，有振动监测功能，对设备的运行状态、喷吹状态进行实时监控，将监控画面显示在上位机上，具备无人值守、远程控制功能，两台压风机可远程控制，视频监控可通过鱼卡一号井环网传输至调度中心，在调度中心配置远程监控计算机，可操作视频监控画面。

二、智能化建设成效

原煤经筛分楼采用 70mm 孔距的振动筛进行初步筛分，对筛分后粒径 70mm 以上的块煤，进入智能选矸系统进行风力选矸，再将风选后的块煤进行破碎，进入原煤皮带运出。

1. 运行情况

对进行初步筛分后的块煤，进行智能选矸，替代了原有选矸工，原选矸岗位工人手选最多 $18000\text{t}/\text{月}$ （矸石），智能选矸系统平均选出 $78000\text{t}/\text{月}$ （矸石），选矸效率提高 4 倍，大幅度减少了地面洗选系统的无效洗选量，对煤质的提升效果

显著。目前该设备应用 3 个月，运行状态良好，洗选准确度高，选出矸石中，矸中带煤率基本为零。

2.安全效益

智能选矸系统实现了无人值守，设备采取全封闭设计，有效解决了选矸工劳动强度大、误操作和职业病（粉尘）等相关不安全因素的发生，更好的保护了职工的生命安全。

3.经济效益

智能选矸系统减少选矸工岗位 30 个，降低人力成本 280 万元/年；经过初步分选后，减少无效洗选量平均 3000 t/日，节约洗选费用 10.5 万元/日，年节约费用 3465 万元/年；选出矸石中，矸中带煤率基本为零，经破碎后，汇入原煤皮带，将混煤发热量提高约 1 MJ/kg。

案例 79 龙泽选煤厂智能干选系统

主要完成单位：洪洞县龙泽选煤厂

一、主要建设内容

（一）建设情况

山西洪洞县龙泽选煤厂位于山西省临汾市洪洞县刘家垣镇刘家垣村，其入洗的煤矸石主要来自附近的霍州煤电集团汾河焦煤公司三交河煤矿和回坡底煤矿。原洗选设备落后，洗选运营成本高、智能化水平低，导致人工成本高，煤矿企业负担重。现将原老化严重的洗选车间拆除，通过智能化选煤系统升级改造后，打造智慧科技化无水选煤厂。

VCS 智能干式选煤机进场安装后，采用人工智能深度神经网络算法，针对选煤厂入选原煤煤质特征，建立与之适应的大数据平台，对煤和矸石进行数字化识别，使设备识别速度，煤、矸分离速度，处理能力均在运行后实现最大化。

（二）主要建设内容

VCS 智能干选机为立式机，是一套自成系统的完整设备（如图 1 所示）。程序简单、操作便捷，仅需将主体设备和辅助设备系统安装到位后，即可投入试运行使用。

1. 主体设备

根据煤矿企业改造升级的实际需求和设备生产企业的实地调研后选定主体设备。龙泽选煤厂的项目设计按综合处置煤矸石约 150 t/h，选用 1 台 VCSA3600 型智能干选机，处理 13~50 mm 粒级煤矸石，单台处理能力 200t/h。参数如表 1 所示。



图 1 VCS 智能干式选煤机

1.主体设备

根据煤矿企业改造升级的实际需求和设备生产企业的实地调研后选定主体设备。龙泽选煤厂的项目设计按综合处置煤矸石约 150 t/h，选用 1 台 VCSA3600 型智能干选机，处理 13~50 mm 粒级煤矸石，单台处理能力 200t/h。参数如表所示。

表 设备参数表

序号	设备器材名称	型号规格及主要技术参数	单位	数量
1	VCS 智能干式选煤机	型号：VCS-A3600 入料宽度：B=3 600 mm 处理粒级 13~50 mm 处理能力 Q=200 t/h	套	1
	智能干选机平台软件	V2.0	套	1
2	往复式给料机	Q=200 t/h	台	1
3	双层振动分级筛	筛孔 25 mm，13 mm，Q=200 t/h	台	1
4	螺杆式空压机	Q=45 m ³ /min，P=0.8 MPa	台	2
5	冷干机（含油水过滤器）	Q=54N m ³ /min，P=0.8 MPa	台	2
6	储气罐 1	V=6 m ³ ,P=1 MPa	个	2
7	储气罐 2	V=12 m ³ ,P=1 MPa	个	2
8	除尘器	风量 18 000 m ³ /h	台	2
9	原煤转载皮带（物料转载）	带宽 800 mm	套	1

序号	设备器材名称	型号规格及主要技术参数	单位	数量
10	矸石转载皮带（物料转载）	带宽 600 mm	套	1
11	精煤转载皮带（物料转载）	带宽 800 mm	套	1
12	末煤转载皮带（物料转载）	带宽 600 mm	套	1

2. 配套系统

VCS 智能干式选煤机包括布料系统、多谱段光电扫描成像系统、智能识别系统、智能执行系统、高压供风系统、辅助系统共 6 个主要系统。



图 2 VCS 智能干式选煤机现场图

（1）布料系统

采用自由落体（或给料器+溜槽）布料系统，替代传统的皮带布料，更加稳定可靠。

（2）多谱段光电扫描成像系统

采用双能 X 射线成像系统采集物料密度空间分布信息，采用可见光全光谱成像系统采集物料表面纹理信息，融合输出给图像识别系统进行分析处理。

（3）智能识别系统

通过深度学习图像识别技术对双能 X 射线传感器/可见光全光谱成像系统获取的物块射线特征信息进行分析，识别出煤和矸石，识别结果输出给执行子系统。

（4）智能执行系统

通过高频、大流量电磁阀精准控制高压气体，对抛出的煤或矸石进行筛选，避免直接与原煤接触，降低设备损耗，提高效率。

（5）高压供风系统

为设备提供稳定清洁的高压空气风源，用于执行分选、气动控制、散热、供风等指令。

（6）辅助系统

①除尘系统：除尘防爆，确保设备安全运行，并对煤粉进行收集利用，避免浪费。②散热系统：对发热量较大的现场设备进行冷却散热，防热量堆积。③辐射安全保护系统：全方面防护隔绝射线辐射，确保人员安全。④远程控制系统：具有就地/远程、运行、故障无源干节点信号接口或工业以太网接口，接受集控运行信号（无源干节点）。高效的控制系统，全方面实现工业自动化控制，避免控制系统繁琐冗杂。



图3 VCS 智能干式选煤机若干辅助系统现场图

二、技术特点及先进性

1.设备智能化高

VCS 智能干式选煤机是一种基于先进成像和人工智能技术的干法选煤设备，具有分选精准度高，大幅减少用电和人力成本，设备易维护，煤种适应性强等优势。

2.适用范围广

设备处理粒级能够分选 6~20mm、13~50mm、30~80mm、13~200mm、50~200mm 粒级物料，基本可以实现动力煤全粒级分选和炼焦煤部分粒级分选。

3.应用领域多

VCS 智能干式选煤技术可应用于替代手选、代替动筛排矸、缺水地区煤炭分选、遇水易泥化的原煤分选、尾煤回收利用以及其他非煤矿物的分选等领域，适

用范围广泛。

4.经济收益显著

其主要收益包括：①矸石提碳再销售。1 台设备年处理量约 100 万 t，实现夹矸及精煤 10 万 t 左右，结合实时煤价核算，每年可收益 2000 万元。②筛下物。热值高于 1000 大卡以上的，可销售给部分配煤厂；热值偏低低于 300 大卡的，可提供给部分矸站用。③选后矸石。就地填埋或者填回巷道，还可根据矸石品质不同用作制砖原料等。④高岭土及其他有价值矸石。

5.社会效益明显

应用 VCS 智能干式选煤技术后，使煤炭资源得到高效利用，不仅节约煤炭资源，又保护环境、节约水资源。促进着煤炭企业改造升级，推动着煤炭产业绿色发展，实现煤炭工业的高质量发展。

三、智能化建设成效

山西洪洞县龙泽选煤厂 VCS 智能干式选煤机项目为选煤厂智能化奠定了智慧矿区的基础，真正做到人工智能代替复杂落后工艺，智能化的优势成效主要体现在：

- 1.算法先进。设备智能化程度高，可自由交替选矸选煤方式；
- 2.识别精准。图像识别系统精确、识别率高，煤质适应性好；
- 3.一键操作。后台一键式操作，客户调取设备信息简单便捷；
- 4.远程控制。远程控制系统，全方面实现工业自动化控制，避免控制系统繁琐冗杂。
- 5.自主研发。电磁阀自主研发，频率高，更加稳定有效；
- 6.节约人力。智能化高、操作简单，现场无需工人长期值守；
- 7.故障自检。系统智能学习，故障可自检。

案例 80 王坡煤矿装车智能管理系统

主要完成单位：山西天地王坡煤业有限公司

一、主要建设内容

山西天地王坡煤业有限公司煤炭装车外运环节，建设煤炭外运智能物流管理系统、汽车智能装车系统和铁路智能装车系统，实现汽车从合同、计划、签到排队、进厂、过磅、装车智能化、洗车、出厂的全流程管控，火车实现实现合同、订单、车号扫描、定量装车全过程，重点环节实现自动化、无人化，流程如图 1、图 2 所示。

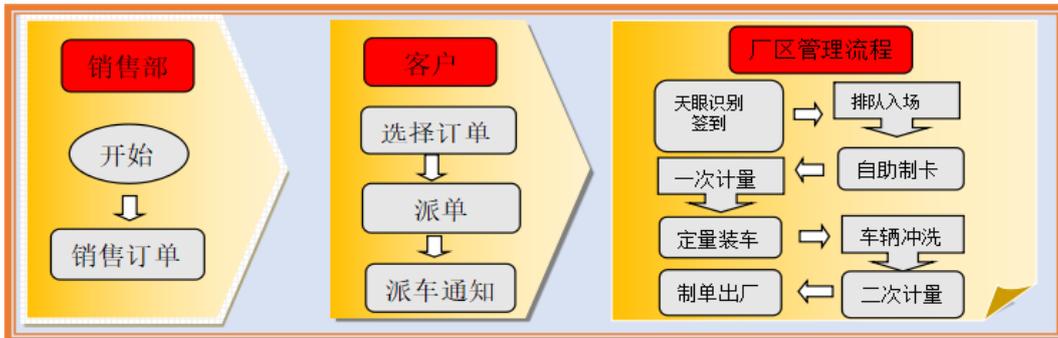


图 1 洗选厂公路智能装车系统流程图

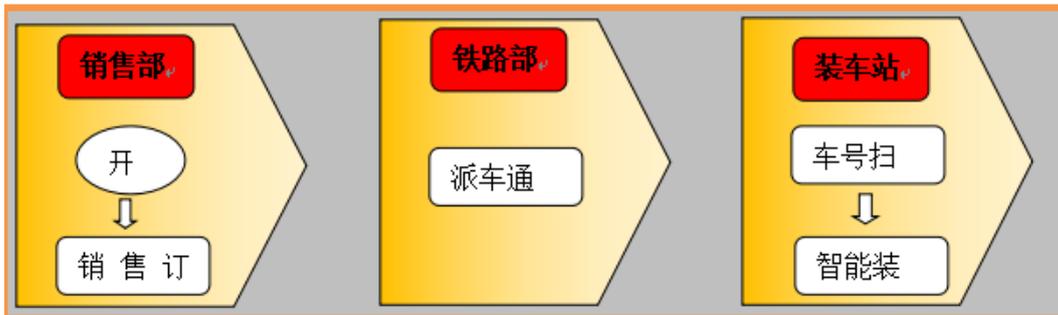


图 2 洗选厂铁路智能装车系统流程图

煤炭外运智能物流管理系统具备排队叫号、智能称重、报表管理和集中监管功能，系统从车辆物流派单、入厂刷证、自动计量、自助打印、出厂核验各作业节点进行全流程监测管理，能够根据到厂时间、到厂签到时间为主线，按厂区装车区域资源优先排队，同时将排队信息发送至 LED 屏，同时也可以在手机 APP 上自行查看自己的排队情况，有效控制厂内车辆容量，减少安全隐患，提高仓库装卸货效率。充分利用现有汽车衡现有设备，并结合多种计量防作弊手段，利用

自动化控制、网络、计算机、数据库等技术，提升计量管控水平和信息化管理水平。报表管理包括统计报表和图形分析两部分，为管理者提供多角度的数据分析模式，方便地从多个角度分析企业的状况。

火车智能装车系统包括高精度自动配料系统和装车控制系统。火车智能装车系统采用基于多传感器信息融合的装车信息多维感知技术、自适应连续装车控制技术、装车参数智能调节技术、车辆调度技术等先进技术，实现从高精度定重称量配料到向车厢卸料全系列工艺流程的智能化控制过程，达到无人操作，有人值守，自动完成从煤炭配料，车厢识别，车辆动态跟踪，到溜槽自动控制，自动卸料等全部装车工序。装车控制系统分为位移检测系统和机械控制系统，位移检测系统是利用光电、雷达传感器及科学算法实时判别车厢位置、行驶速度、车厢长度等车厢数据，将处理后的数据传输给机械控制系统，实现智能启停设备及装车机械臂的控制，自主完成智能化装车。如图 3 所示，洗选厂铁路智能装车框架流程图。

汽车智能装车系统包括高精度自动配料系统、机械控制系统、车辆检测系统和语音指挥系统。高精度自动配料系统和机械控制系统与火车原理相同。其中车辆检测系统分为车厢测量技术和动态跟踪技术，这两项技术都是采用光电雷达传感设备并利用点云处理技术进行智能识别，车厢测量技术可高精度测量汽车车厢大小及形态，并将处理数据传输给机械控制系统及语音系统；动态跟踪技术可以动态跟踪车辆位置，并将位置数据传输给机械控制系统及语音指挥系统。语音指挥系统能根据接收到车辆检测系统和机械控制系统的信息数据进行智能化指挥车辆行驶进速度及位置，实行汽车智能化自动装车。

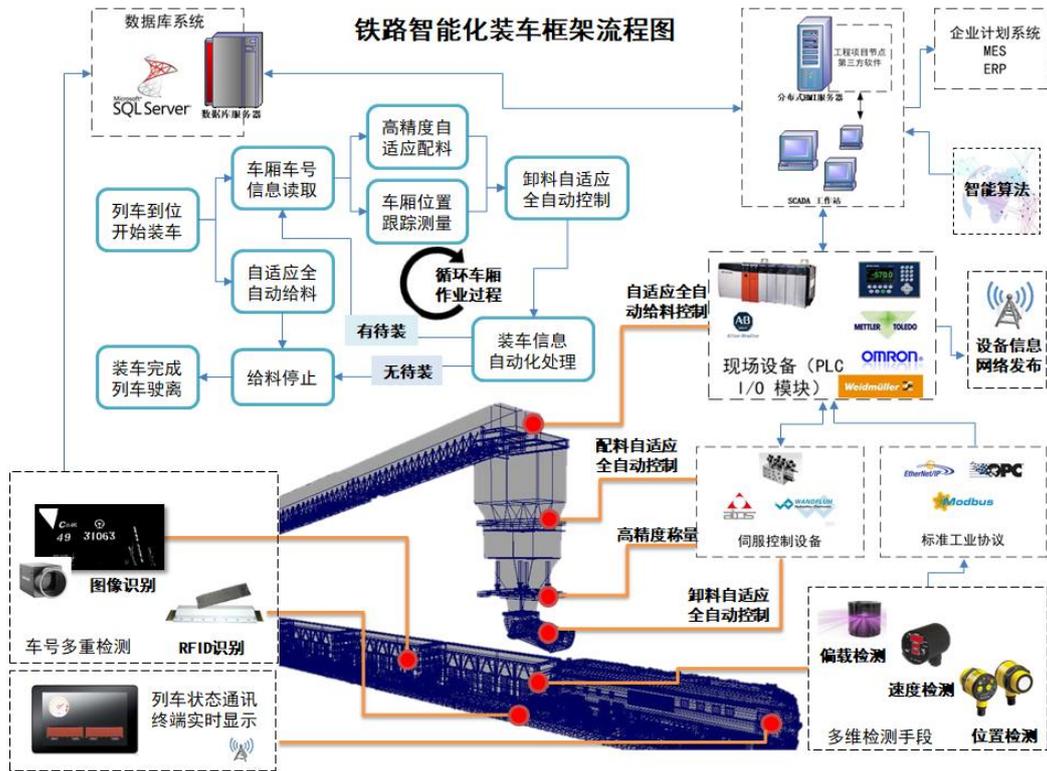


图 3 洗选厂铁路智能装车框架流程图

二、技术特点及先进性

本工程案例以采购、销售、装车计量业务物流为核心，衔接现有作业系统，执行自助派车、入厂刷卡、自动计量、智能装车系统、出厂核验同时打单等作业节点，并将执行结果及业务信息在无人值守系统中展示，有效控制厂内车辆容量及进出厂秩序，确保车辆作业安全；有效提高发货效率降低装车空闲机率，系统实施后可将厂内车辆作业形成流程化管理机制，共享物流信息实现一体化管理，提升客户满意度。

智能装车系统以雷达点云处理技术、自动装车算法、数据库等技术实现了车厢边缘识别、动态监测装载状态、智能语音提示、高精度自动配料等功能，系统依据激光雷达点云数据结合称重仪表数据，实时监测车厢边缘位置和物料装载状态，并根据历史数据进行计算对比预判出下一步货车司机应采取的操作，并通过电子发声器提示出来，实现无人值守自动提示司机对车辆进行配合操作，系统通过大数据学习不断自我升级提高装车效率实现精确装车的目的。同时系统通过高精度传感器监测配料系统设备运行状态、自动匹配车辆信息、自主完成系统配料，火车自动配料系统单节配料精度 $\geq 0.2\%$ ，整列精度达到 $\geq 0.1\%$ 。

三、智能化建设成效

汽运管理系统建设完成之后，磅房服务中心，能够优化减员 6 人。原试重装车形式铲车司机 1 名、过磅员 6 名，改造后配巡视人员 1 名。

通过汽车智能装车系统的实施，实现车辆管理和末原煤装车智能化控制，无人操作，汽车装车无人化常态稳定运行。实现汽运售煤各个环节的无人化，智能化，提高了汽车发运的效率。

通过铁路智能装车系统的实施，大幅提高装车系统自动化程度，减轻工人劳动强度，确保精确装车，避免偏载，减少了偏载对铁路运输的影响，充分保障了装车过程的安全、高效。

