

山西省煤矿智能化建设 典型案例汇编 (2023 年)

山西省能源局
2023 年 8 月

前 言

近年来,我省煤炭企业认真贯彻落实“四个革命、一个合作”能源安全新战略,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,我局从全省范围内征集了 124 项煤矿智能化建设案例,经组织专家评选,共有 65 项案例入选。入选的案例兼顾国有企业和民营企业、采煤和洗选、井工和露天煤矿以及各种不同地质灾害、采掘工艺、运输方式等条件,涵盖信息基础设施、智能掘进系统、智能综采系统、全矿井智能化、其它智能化系统、露天煤矿智能化、智能洗选共计 7 个方向,确保具有可复制、可推广性。现编辑形成《山西省煤矿智能化建设典型案例汇编(2023 年)》,供各地市、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 信息基础设施建设	- 1 -
案例 1 庞庞塔煤矿 5G+工业互联网应用	- 2 -
案例 2 高河能源生产经营一体化智能管控平台.....	- 8 -
案例 3 王坡煤业生产调度一体化管控系统.....	- 17 -
案例 4 新元煤炭作业流程智能管控平台.....	- 23 -
案例 5 玉溪煤矿 5G 通信建设项目.....	- 28 -
案例 6 华宁焦煤智能化管控平台.....	- 35 -
案例 7 高河能源 5G “智矿通”项目.....	- 41 -
案例 8 韩咀煤业智慧生产调度指挥中心.....	- 49 -
案例 9 沙曲二矿数据中心.....	- 55 -
案例 10 三元煤业数据治理服务.....	- 61 -
第二章 智能掘进系统建设	- 66 -
案例 11 华阳一矿高抽巷全断面快速掘进系统.....	- 67 -
案例 12 新景矿煤业 TBM 全断面快速掘进.....	- 71 -
案例 13 寺家庄煤业智能化掘进系统.....	- 77 -
案例 14 上榆泉煤矿 5G+智能掘进工作面	- 83 -
案例 15 高河能源 5G 在掘锚一体机智能化远程控制的应用.....	- 89 -
案例 16 店坪煤矿掘进机自动截割机器人系统配套滑移式支架技术研究与应用.....	- 94 -
案例 17 鑫岩煤矿智能快速掘进系统.....	- 107 -
案例 18 王家岭矿小空顶距大断面智能掘进工作面建设.....	- 116 -
案例 19 高阳煤矿四采回风巷智能化掘进工作面建设.....	- 125 -
案例 20 山西潞安集团和顺李阳煤业智能掘进系统.....	- 137 -
第三章 智能综采系统建设	- 144 -
案例 21 保德煤矿基于 F5G 网络的采放协同工作面	- 145 -

案例 22 华宁焦煤一次采全高智能化工作面.....	149 -
案例 23 王家岭矿智能化综放工作面.....	154 -
案例 24 三元煤业综采 5G 全景动态视频拼接系统.....	159 -
案例 25 斜沟煤矿千万吨级矿井智能化综采工作面建设.....	165 -
案例 26 晋保煤业 13102 大采高智能化工作面的研究应用.....	174 -
案例 27 上榆泉煤矿 5G+智能采煤工作面	187 -
案例 28 中煤塔山煤矿基于老旧设备智能化升级改造技术研究及应用.....	191 -
案例 29 金辛达煤业高效薄煤层智能化装备应用.....	201 -
案例 30 寨崖底煤业薄煤层自动化远程控制开采关键技术的应用.....	208 -
案例 31 双柳煤矿智能化综采工作面探索与应用.....	213 -
案例 32 毛则渠煤矿智能化综放工作面探索与应用.....	222 -
第四章 全矿井智能化建设	230 -
案例 33 塔山煤矿 5G+智慧矿山	231 -
案例 34 鑫岩煤矿 5G 智慧矿山建设.....	245 -
案例 35 富家凹煤业智能化煤矿建设.....	264 -
案例 36 寺河煤矿智能化矿山建设.....	275 -
案例 37 李村煤矿智能化促进安全生产融合.....	280 -
案例 38 东江煤业智能化煤矿建设.....	286 -
第五章 其它智能化系统建设	293 -
案例 39 塔山煤矿辅助运输安全智能管控系统.....	294 -
案例 40 高河能源智能供电系统.....	300 -
案例 41 王家岭矿全矿井 AI 视频安全管理系统	307 -
案例 42 王坡煤业煤流智能协同管控系统.....	311 -
案例 43 麻家梁煤矿基于煤矿 5G 的智能巡检机器人应用与实践.....	316 -
案例 44 开元矿业智能气力输送系统.....	326 -
案例 45 高河能源智能通风系统.....	329 -
案例 46 沙坪煤业矿井通风仿真模拟系统.....	339 -
案例 47 双柳煤矿动叶可调风机不停风倒机系统.....	344 -

案例 48 官地煤矿高压配电装置隔离电动推进系统.....	352 -
案例 49 斜沟煤矿瓦斯联动及避灾路线自动规划.....	360 -
案例 50 同忻煤矿地质保障系统建设.....	366 -
案例 51 华宁焦煤井下智能化无人值守变电所研究与应用.....	371 -
案例 52 韩咀煤业基于一张网多功能融合平台的辅助运输调度管理系统..	384 -
案例 53 华阳一矿辅助运输智能调度系统.....	390 -
案例 54 王坡煤业智能培训中心.....	403 -
案例 55 晋保煤业长距离掘进通风技术研究应用.....	406 -
案例 56 上榆泉煤矿智能装备应用.....	413 -
第六章 智能露天煤矿建设	424 -
案例 57 东露天矿基于 5G 网络多车编组常态化运行.....	425 -
案例 58 东露天矿边坡智能监测系统建设及应用.....	430 -
案例 59 东露天矿钻机无人驾驶值守系统的应用.....	437 -
案例 60 平朔集团综合信息集成平台建设.....	452 -
第七章 智能洗选建设	461 -
案例 61 沙曲选煤厂重介智能分选系统.....	462 -
案例 62 王坡煤业装车智能管理系统.....	466 -
案例 63 王坡煤业洗选厂智能压滤系统.....	470 -
案例 64 龙泽选煤厂智能干选系统.....	474 -
案例 65 吕能选煤厂选、供、销智能一体化管理系统的研究与应用..	480 -

第一章 信息基础设施建设

案例 1 庞庞塔煤矿 5G+工业互联网应用

主要完成单位：霍州煤电集团吕临能化有限公司庞庞塔煤矿

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。

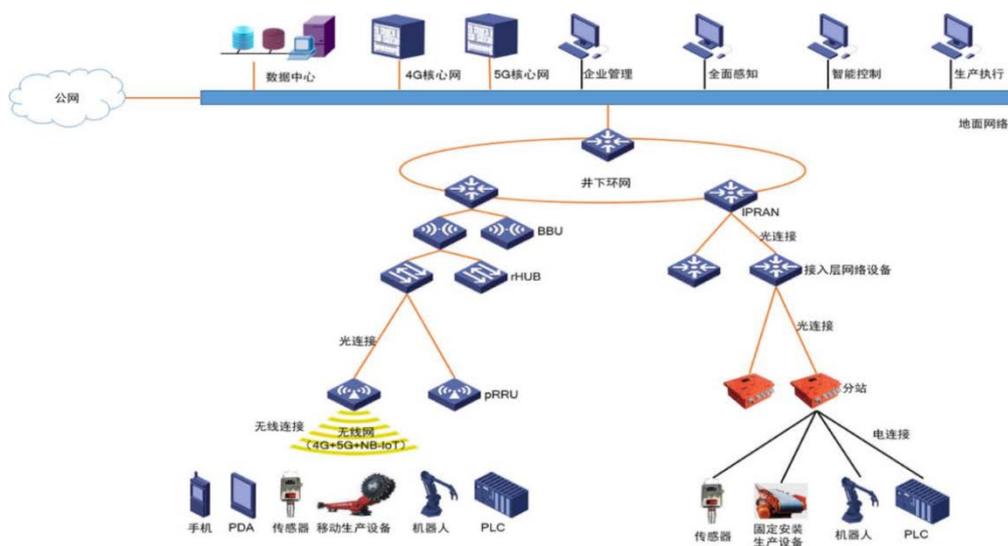


图 1 井下 4G/5G 系统结构

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 150 m²，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。

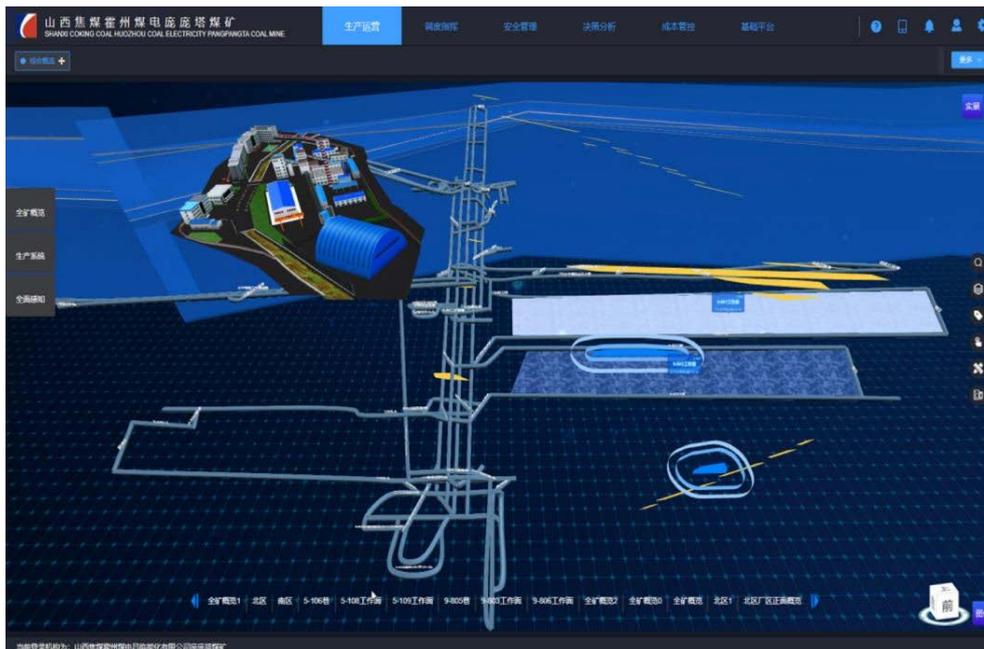


图 2 庞庞塔煤矿智能化综合管控平台

（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

（一）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。

（二）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。

（三）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。

（四）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 2 高河能源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，如图 1 所示。



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，如图2、图3所示。



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，如图 4 所示。

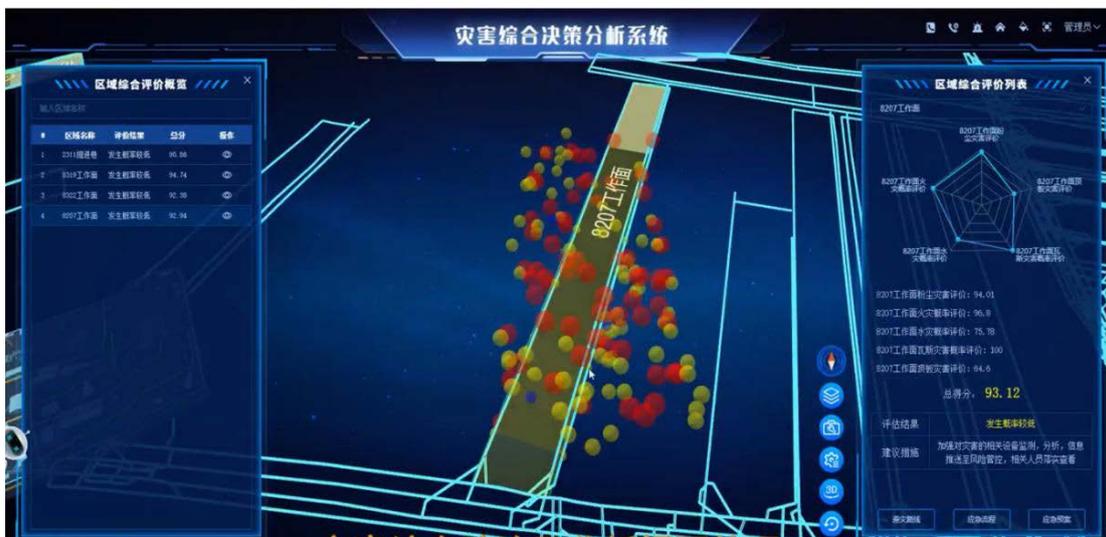


图 4 灾害综合决策分析系统

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，如图5、图6所示。

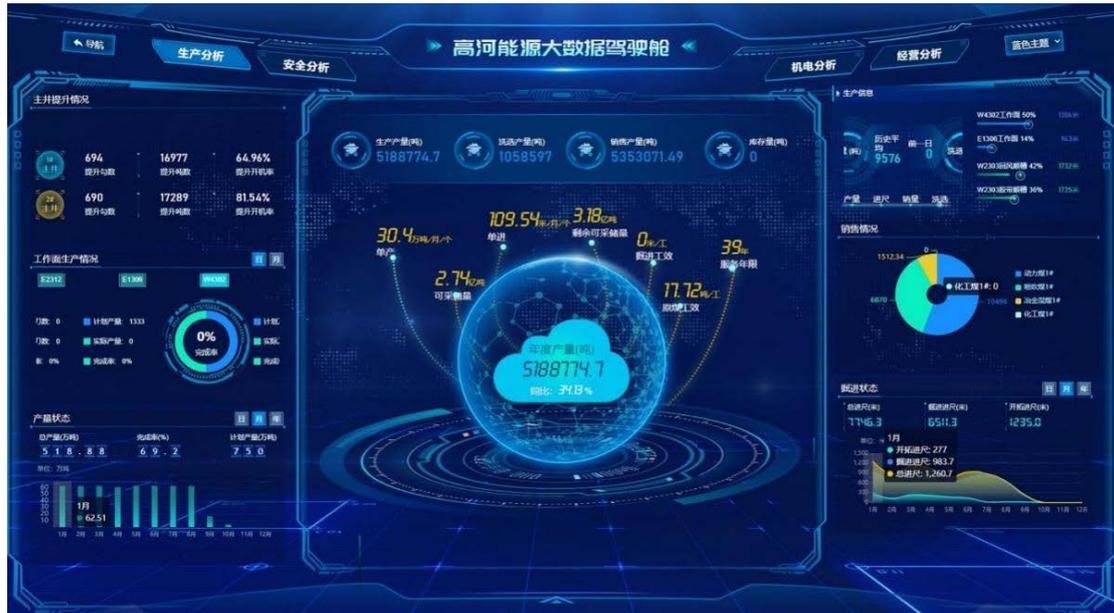


图5 大数据驾驶舱



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，如图7所示。

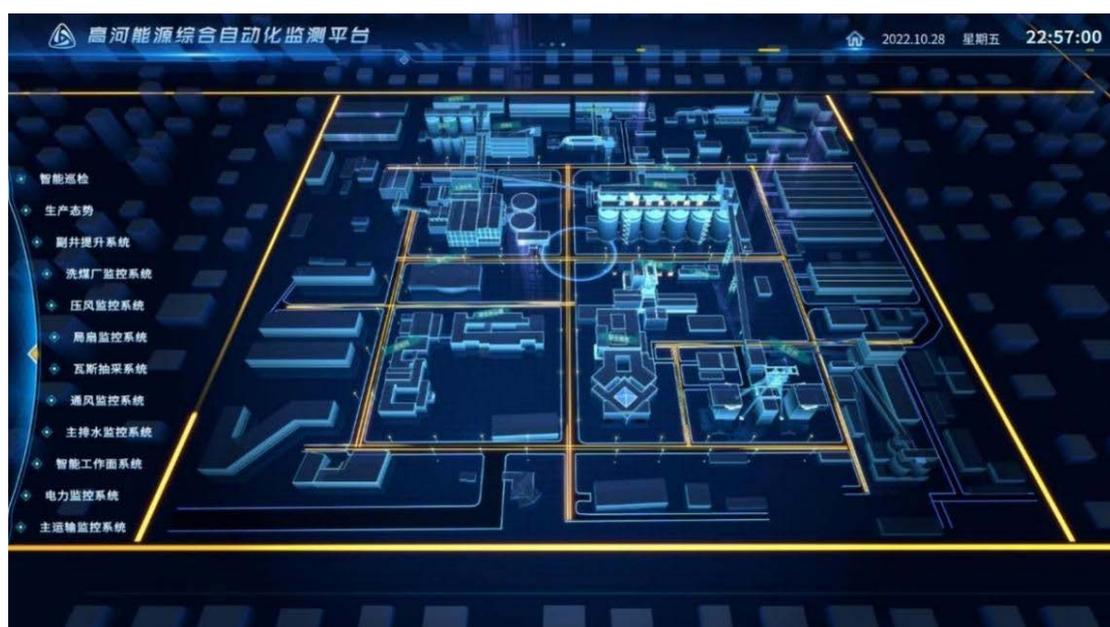


图 7 综合自动化监测平台

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，如图 8 所示。



图 8 智能综合调度平台

7. 基于 RED-MOS[□]的 3D GIS 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，如图 9 所示。

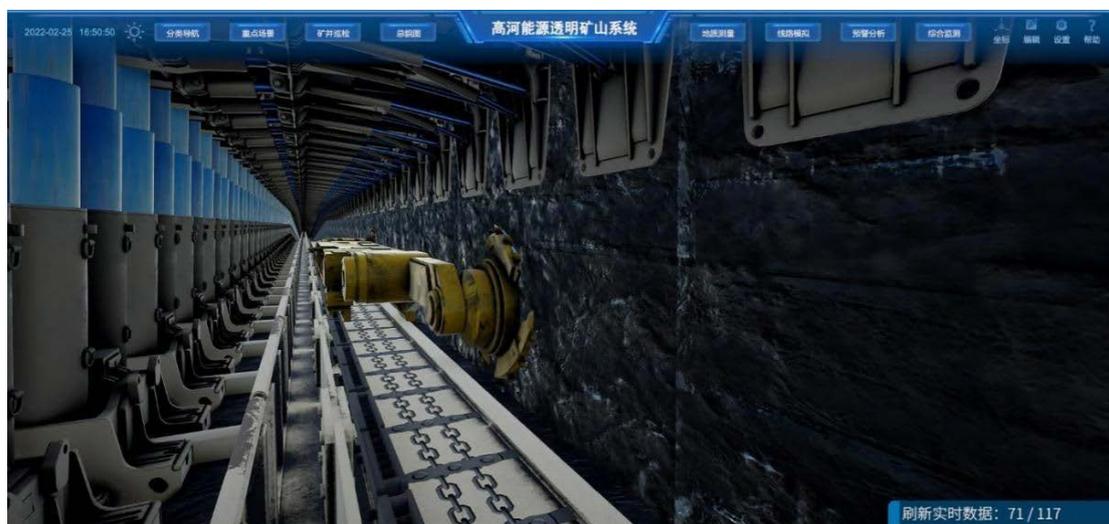


图 9 透明矿山系统

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 3 王坡煤业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。

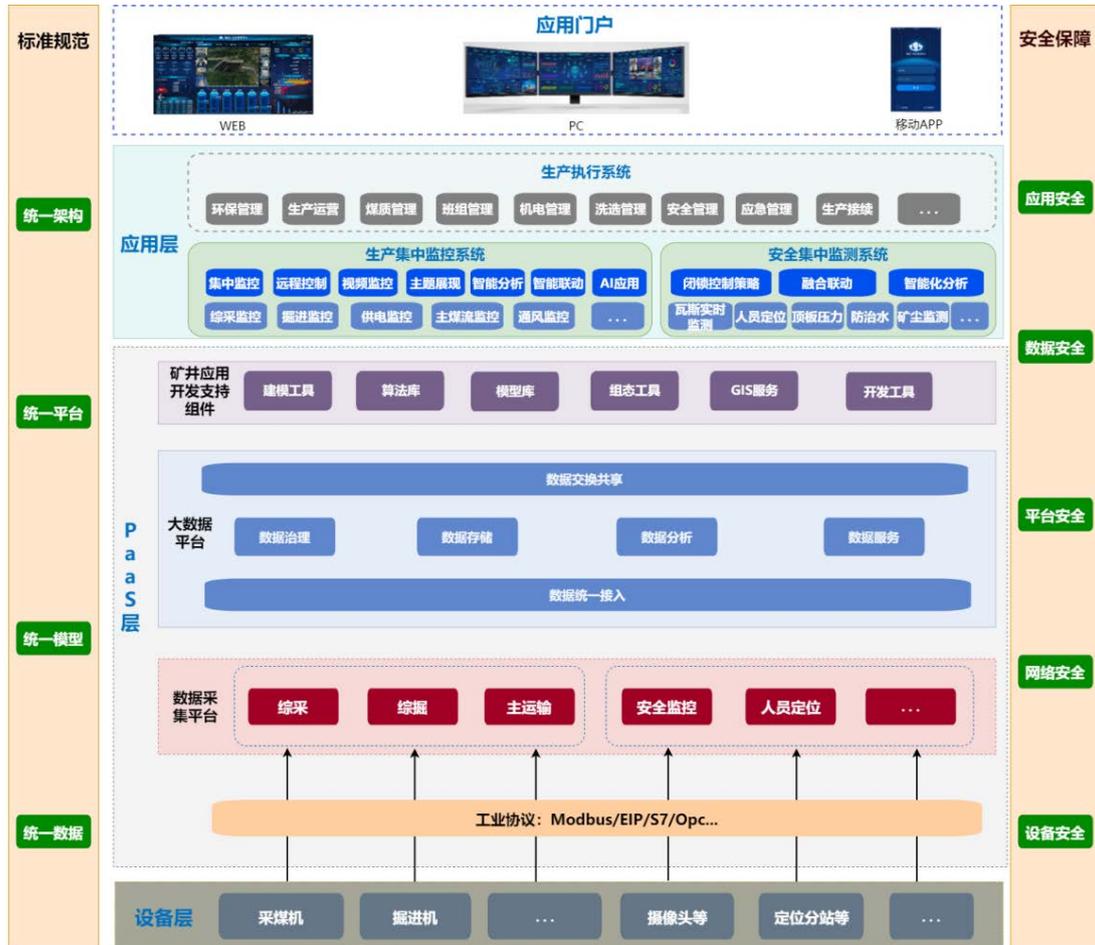


图 1 天地王坡智能一体化管控平台总体架构

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。

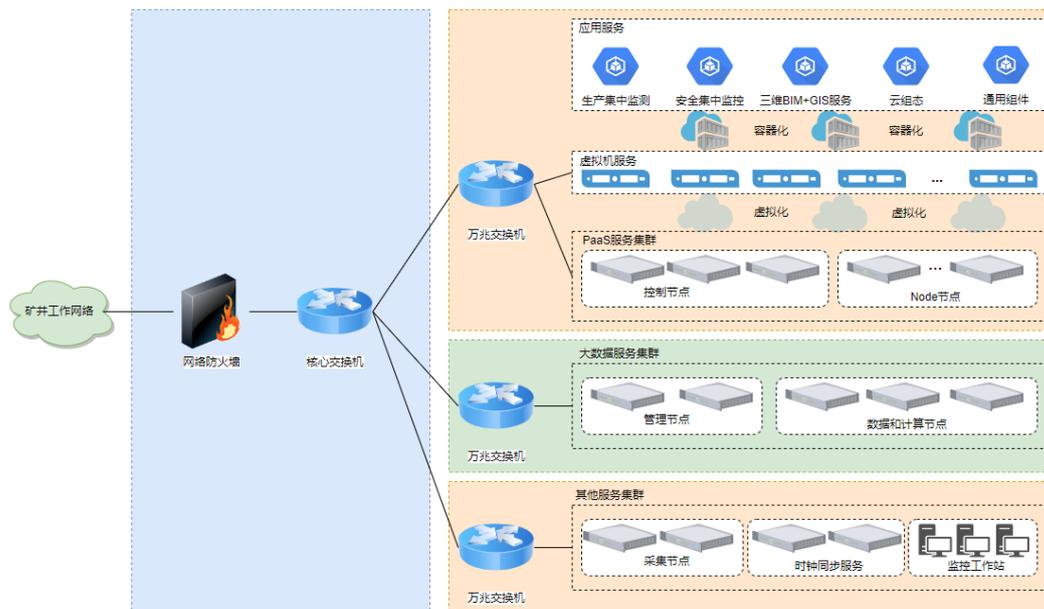


图2 天地王坡智能一体化管控平台部署架构

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。

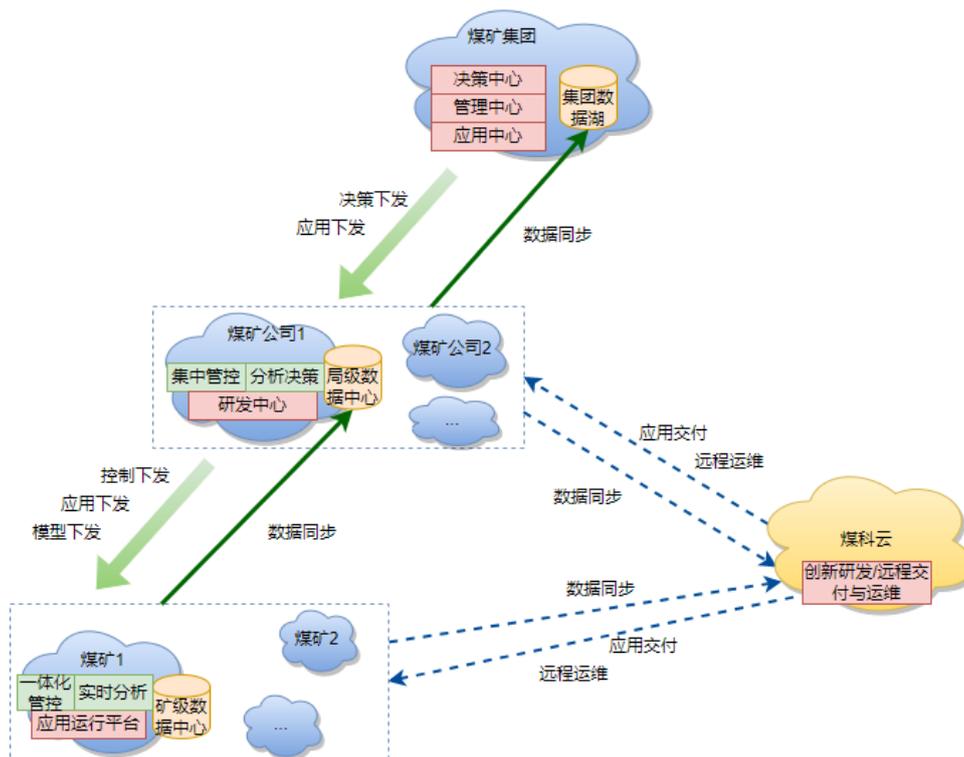


图3 天地王坡智能一体化管控平台云边协同、多级部署示意



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：

- (一) 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（SylixOS、中兴、中标麒麟、欧拉、深度等）。

（二）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。

（三）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。

（四）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。

（五）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。

（六）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）。

（七）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。

（八）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。

（九）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。

（十）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個能用、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4 新元煤炭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

（一）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。

（二）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。

（三）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。

（四）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。

（五）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。

（六）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5 玉溪煤矿 5G 通信建设项目

主要完成单位：联通（山西）产业互联网有限公司

一、主要建设内容

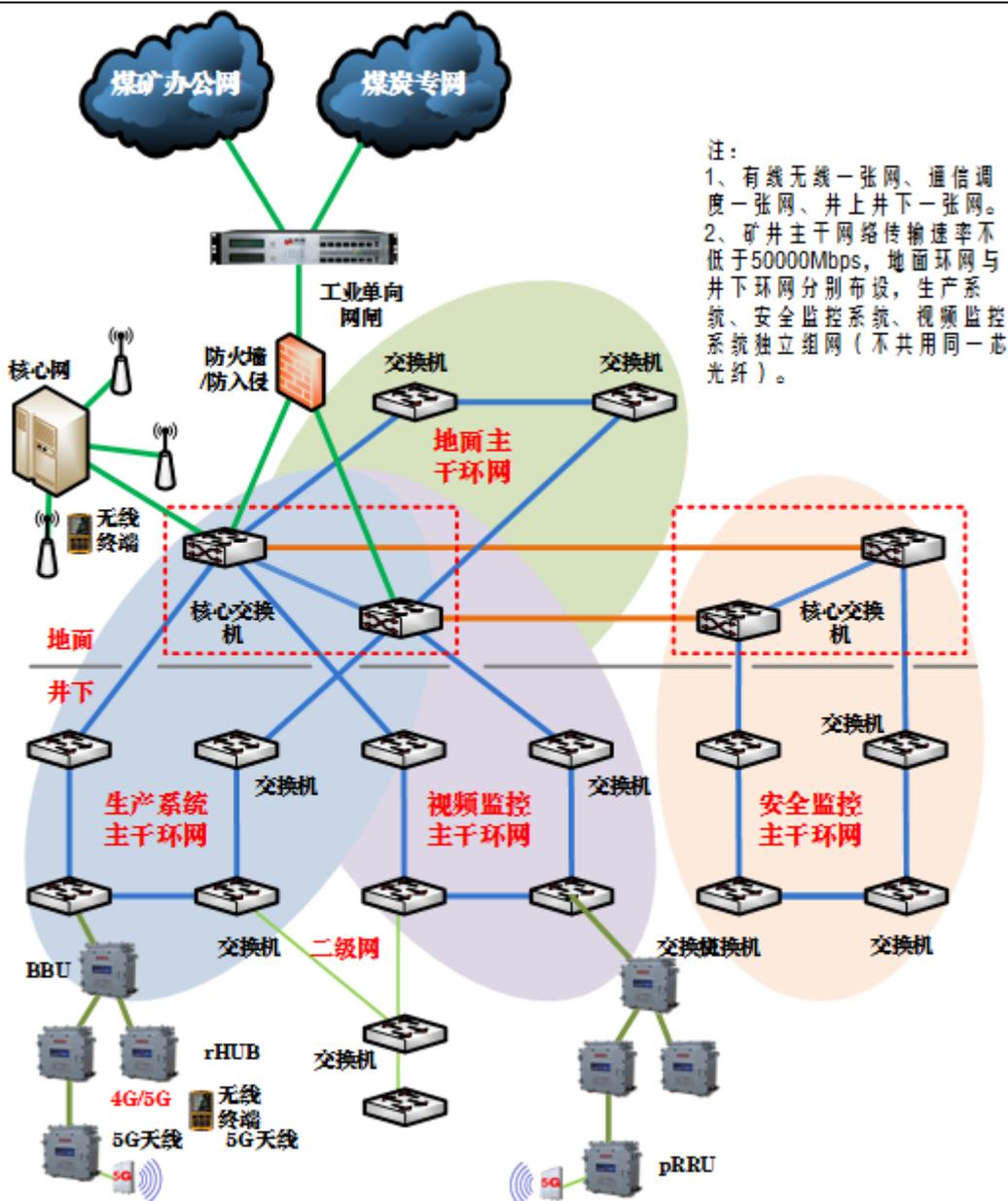
（一）矿井概况

山西兰花科创玉溪煤矿有限责任公司，隶属于山西兰花科技创业股份有限公司，为市属国有企业。位于晋城市沁水县胡底乡玉溪村西侧，井田面积 26.147 平方公里，批准开采 3#煤层，核定生产能力 240 万吨/年，服务年限 41.7 年。

玉溪煤矿为煤与瓦斯突出矿井，水文地质类型中等。目前开采的 3#煤层厚度 6.0~6.2m，煤层倾角约为 0°。开拓方式采用斜井开拓，综采工作面采用走向长壁后退式采煤方法、一次采全高综合机械化采煤工艺，全部垮落法管理顶板，采用中央并列式通风系统，煤炭运输采用胶带输送机运输，辅助运输采用防爆无轨胶轮车。

（二）建设内容

2020 年我矿成立 5G 智能化专班，在晋城率先开展煤矿 5G 专网的先行先试。经过与总公司、运营商、华为公司等反复沟通讨论，提出了我矿有线无线一张网、通信调度一张网、井上井下一张网的 4G/5G+50000Mbps 工业以太环网的整体组网建设思路。玉溪煤矿 4G/5G+50000Mbps 工业以太环网，如图 1 所示。



玉溪煤矿4G/5G+50000Mbps工业以太环网示意图

图1 玉溪煤矿4G/5G+50000Mbps工业以太环网示意图

我矿项目建设与运营商和华为公司共同合作建设。工业以太环网规划建设为主干速率50000Mbps，选用华为NE8000~M8核心交换机、矿用隔爆兼本安型KJJ127环网主干交换机，以共享核心网的方式、冗余互备的架构分别组建了数据与视频两张环网，二级汇聚网络不低于10000Mbps，数据与视频不同业务经路由分别上行至两个主干环网。我矿主干网不仅是井上下有线传输的骨

干网，同时也是我矿 5G 无线通信的承载网，实现了有线无线融合一张网的目标。

基于断链保活等考虑，我矿 5G 无线通信系统规划建设了 4G/5G 独立核心网。基站部署分为地面与井下两个部分，其中井下区域由我矿投资，共规划部署基站 46 台，覆盖除回风巷道以外的所有巷道、硐室及采掘工作面；地面部分为了避免 4G/5G 基站违法建设，由项目承建运营商投资并部署了室外宏站 6 套，覆盖矿区所有工业广场、楼宇与风井等场地。地面与井下两部分共同使用我矿投资建设的 4G/5G 独立的核心网，构建了井上、下 4G/5G 相对安全的语音与数据通信环境。经与运营商沟通，凡不出矿区范围的语音和数据我矿均可免费使用。

项目建设同时，我矿通过 SIP 中继相继实现了 4G/5G 与我矿行政电话、井下有线调度电话、应急广播等系统的互联互通，建设了全矿井全方位多手段的统一融合通信环境。

4G/5G 项目建设，实现了矿区井上下 5G 信号的全方位覆盖，充分利用 5G 网络大带宽、低时延、高可靠性和海量连接的特性，在智能综合管控平台、皮带保护、安全巡检、5G+智能综采、5G+智能掘进等生产领域不断探索应用场景。同时，我矿智能煤流、智能排水、智能通风、智能掘进、产量监测、人员定位、工业视频等 37 个子系统的数据及视频均通过 4G/5G+50000Mbps 工业以太环网稳定可靠传输至地面，为我矿实现数字化、网络化、智能化融合，建设成全面感知、实时互联、协同控制的智能化矿山，奠定了基础。

二、技术特点及先进性

我煤矿“5G+智能矿山”项目有 7 大特征：

（一）“三网融合”组网架构。率先提出并实现有线无线一张网、通信调度一张网、井上井下一张网“三网融合”组网架构。

1. 有线无线一张网。4G/5G 无线承载网与有线传输主干网合二为一，不仅有效降低了投资规模，还解决了有线、无线数据互联互通传输时节点多、路径长、可靠性低等问题。

2. 地面井下无线一张网。首次借助与运营商合作，使用“双链接”技术，通过共用煤矿自建的独立核心网，将煤矿井下 5G 专网与运营商地面基站打通，为我矿智能矿山井上、下无线通信打造了安全可信区域，保证了数据不出矿区，安全可靠传输。

3. 融合通信一张网。5G 无线通信系统和调度通信、应急广播系统联动告警，有线调度电话与煤矿行政电话、“4G+5G”无线通讯系统、应急广播通信系统无缝互联互通。实现了调度台一键拨打有线电话、手机与应急广播、井上下有线电话、手机与应急广播间任意互联互通。

（二）5G 独立组网。5G 通信系统核心网建设在矿内，能在煤矿井下实现独立组网、独立运行，在煤矿外部网络故障时，5G 系统能继续安全、独立、稳定运行，保证无线通信及数据传输的可靠性、稳定性。目前我矿井下所有基站均受机房核心网控制，数据仅在矿区内流通，不与外界发生任何关系。5G 通信系统具有限制用户访问公网及对矿区以外电话语音通话等权限，矿方可根据工作要求进行权限修改，对于生产区域接入终端实行网络准入限制。同时，使用统一配发的防爆手机可随时通过在管控平台手机 APP 上查看通过 5G 传输的各智能化系统的实时数据，为掌握

井下安全生产情况提供了有力保证。

（三）自主可控。关键核心技术设备、信息产品和服务的自主可控，是保障网络安全、信息安全的前提。我矿 5G 矿山项目建设软硬件产品均采用华为等国产技术及品牌，产品核心技术自主可控，产品设计研发、生产及服务厂商均符合安全保密要求。

（四）双环网架构，视频、数据网两环网分离。正常情况下双环网保障视频数据、控制数据隔离传输，保障控制指令网络的高可靠性、高带宽环境，且两环网可以互为冗余，互为保护，形成双环冗余结构，如图 2 所示。

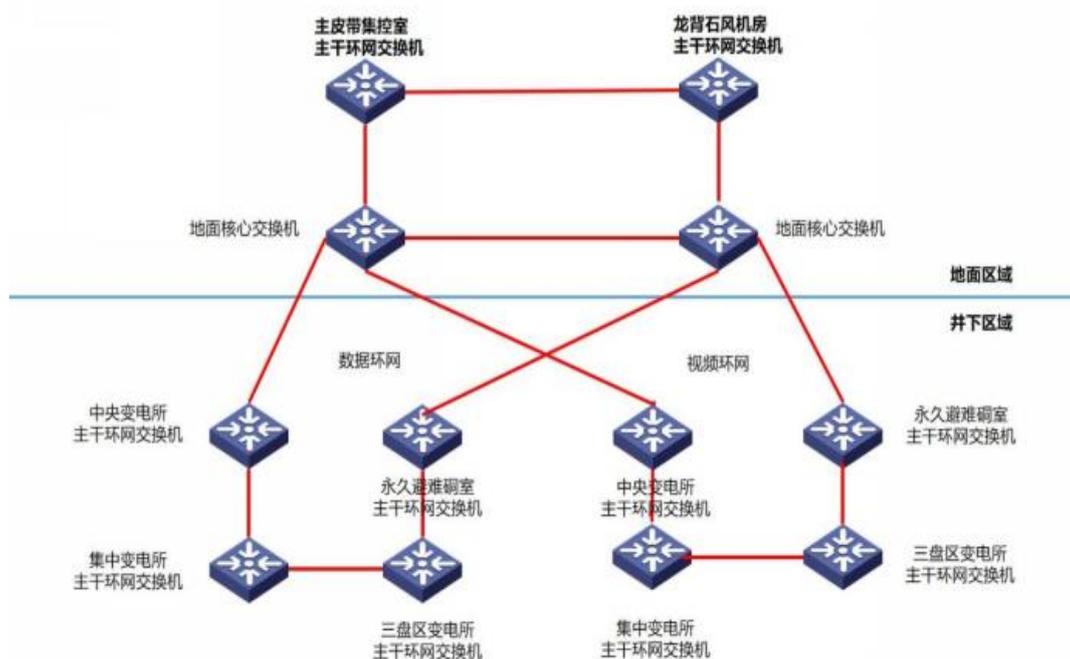


图 2 双环网架构示意图

（五）基站多模及 5G 切片。根据矿井实际需要，我矿采用多模基站，支持 4G、5G 和 NB~IoT 网络。先期进行 50000Mbps 环网的升级改造和以井下煤流、车流、人流为重点区域 4G/5G/NB 信号的覆盖，以支撑智能化工作面的各项应用。5G 无线网络独有的切片功能可以将控制数据和其他业务数据区分开

来，可实现对不同业务流量的分流。依照不同用户的服务需求，以诸如时延高低、带宽大小、可靠性强弱等指标来进行划分，从而应对复杂多变的应用场景，满足不同业务在安全性、数据隔离、业务自主可控等特殊需求。每个端到端切片均由无线网、传输网、核心网子切片组合而成，并通过端到端切片管理系统进行统一管理。

（六）经济性。借助与运营商合作，共享了运营商地面基站信号，减省了专网地面投资；50000Mbps 冗余互备双环网一次到位，除安全监控外其他所有应用共用一套骨干环网，避免了重复建设；设备接入实行有线、无线双接入环境，有线投资大的场所采用无线接入，减省投资；井上下小号 4G 语音互联互通，免费给员工创造了福利；4G/5G 双频基站，大巷不用的可以只开 4G，需要的通过授权开 5G，保障了投资的经济性。

（七）晋城首例。2019 年，玉溪煤矿完成了 5G 下井测试；2020 年，玉溪煤矿启动 5G 矿山建设，为晋城第一家实现了 5G 工业应用的矿山。

三、智能化建设成效

5G 智能矿山的建设，未来可以为玉溪带来以下社会效益和经济效益。

（一）降本：工作面通信系统无线化，减少了大量有线通信线缆的使用及维护费用；掘进系统智能化，实现了少人操作，节省了人工成本；掘进司机技术能力要求较高，而采用智能化远程操作，能节省较高的培训费用，使吨煤生产成本进一步降低；

（二）增效：智能化建设可成倍的加快掘进面的掘进速度，

能够从 40min~60min/步距减至 15min/步距，使掘进速度提升至匹配综采速度，提高产煤速度，提高煤矿生产的经济效益，同时掘进截面更加平整；

（三）安全：智能安全监控系统、智能地质探测技术及设备保障了掘进工作的无风险进行，人员的作业方式由现场作业转为远程控制，使人员脱离恶劣、高危的工作环境，提升煤矿生产的安全效益。

2022年，玉溪煤矿“5G+智能矿山”项目荣获第五届“绽放杯”5G应用征集大赛决赛优秀奖。

案例 6 华宁焦煤智能化管控平台

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

（一）矿井概况

山西华宁焦煤有限责任公司位于山西省乡宁县西坡镇，2009年11月16日山西省煤矿企业兼并重组整合工作领导小组办公室以“晋煤重组办发〔2009〕95号”文件批准，整合重组成立独立法人公司。核定生产能力300万吨/年，并配套300万吨/年选煤厂；煤种为瘦煤，属质炼焦配煤。

矿井采用斜井开拓；通风方式为中央分列式；通风方法为机械抽出式；供电系统为双回路供电；矿井正常涌水量66.25m³/h，最大涌水量82.92m³/h。目前主采2#煤层，可采储量1.2亿吨，服务年限31.9年。水文地质类型为中等，矿井为高瓦斯矿井；主运输采用阻燃型带式输送机，辅助运输采用无轨胶轮车。

（二）建设内容

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，以探索无人矿井建设路径为方向，以“采掘无人、运输无人、值守无人”为目标，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。

1. 信息化基础设施

信息主干传输网络采用有源以太环网形式，2021年建设1套井下万兆传输网络，形成了以地面核心层为中心，井下重要场所

为汇聚层的环形网络拓扑结构。信息辅助传输网络采用 4G+5G 通信系统，4G 信号覆盖辅运大巷、胶带大巷及主要采掘巷道，实现了基于 4GVoLTE 的高清语音、视频通话、宽带数据传输等功能，5G 信号覆盖采掘工作面、变电硐室等主要场所，实现巡检机器人、智能化采掘等设备的 5G 信号传输，为系统提标准化、统一化的矿井信息高速公路。

2. 智能综合管控平台

利用云平台建设智能综合管控平台，以智能 TGIS 平台为基础，围绕监测实时化、控制自动化、安全本质化、管理信息化、业务协同化、知识模型化、决策智能化的目标，应用物联网、云计算、大数据、区块链、人工智能及智能控制等技术，实现煤矿地质保障数据、GIS 图形数据、自动化控制数据、实时监测数据、视频数据、安全生产经营业务数据等全要素数据的融合应用，形成全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的一体化平台，满足国家智能化矿井建设对管控平台的建设要求，实现了“采、掘、机、运、通”等主要生产环节进行全流程的实时监控。



图 1 华宁焦煤智能化管控平台登录界面

二、技术特点及先进性

华宁公司积极响应贯彻落实国家八部委精神和山西省煤矿智能化建设实施方案要求，在集团公司统一决策部署下，与北京龙软科技股份有限公司联合研制开发了基于我国完全自主知识产权、自主可控的“一张图”安全生产智能管控平台，实现了华宁公司生产过程可视化、信息传输网络化、生产管理与决策科学化。最终目标是降低安全生产事故，提高安全生产技术管理水平，建设少人的高科技矿山。

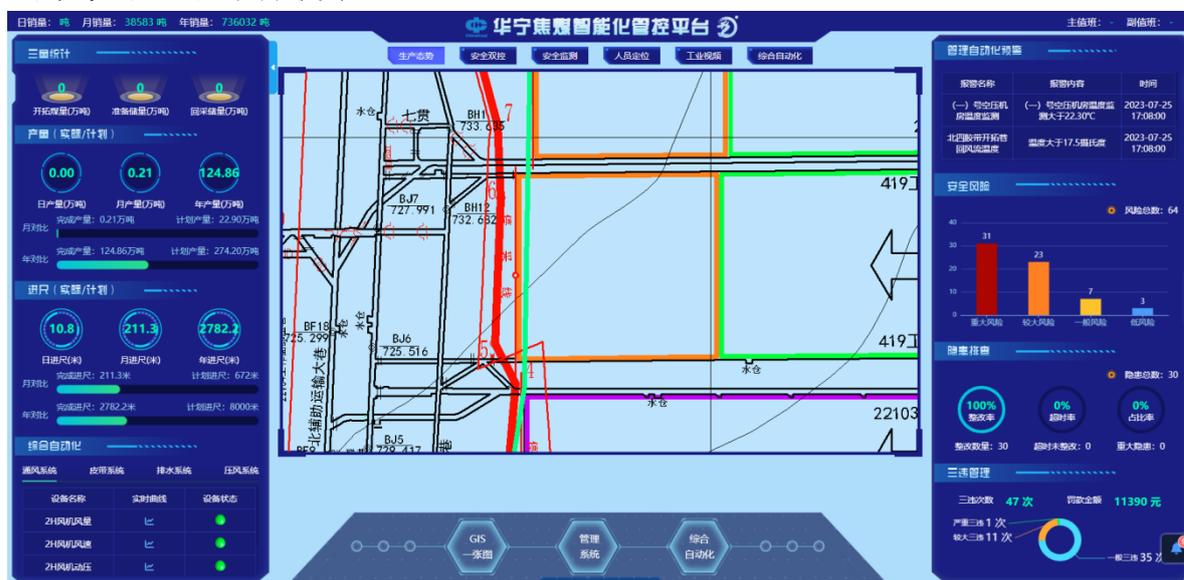


图 2 智能化管控平台主界面

重要技术创新点说明说明：

（一）针对煤矿信息化标准规范问题，在综合国家、行业、企业标准规范的基础上，基于华宁公司安全生产业务的实际需求，详细研究制定了满足智能综合管控平台建设的标准规范体系，实现了生产调度、一通三防、生产技术、安全管理、机电运输、地测防治水等业务的相关数据存储、管理流程充分梳理和一张图数据规范，包括煤炭行业空间数据的获取、处理、存储、分析、访问标准，以及煤矿地理信息在不同用户、不同系统之间的数据共

享和服务标准，煤矿安全生产调度、生产技术、地测防治水、一通三防、机电运输、综合监测、安全管理等业务信息化管理标准。

（二）能源行业属于粗放型产业，在信息化建设方面相对其他领域较为滞后。煤矿生产和管理都是基于传统的人工管理模式，而且对空间数据的处理不关注，仍有不少企业和业务部门采用不适合处理空间信息的 AutoCAD 作为数据处理平台，这些管理模式无法适用当前的智能化矿山建设，需要从根本上转变煤矿企业的管理思想。

智能综合管控平台是基于华宁公司“一张图、一张表、一个库、一张网”的管理理念，结合地理信息系统，实现了安全生产管理模式的转变，煤矿地测、采矿、机电、通风、安全、监测、调度等多部门数据和业务的横向联通，矿井各专业业务管理的纵向共享，为智能煤矿的建设提供了先进信息化管理手段。

（三）建立了“一张图”协同 GIS 服务平台，解决了大数据存储方式下的空间数据模型和索引支持问题，实现了煤矿“采、掘、机、运、通”和“水、火、瓦斯、顶板”分布式协同图形处理与分析技术。

通过融合 GIS、协同工作的一张图平台，实现基础地测、生产技术、监测监控、综合自动化、安全管理等业务数据在矿井内部以及矿井到集团的横向联通、纵向共享，解决煤矿地理信息的共享性、一致性、完整性和现势性问题。

（四）基于统一 GIS 服务平台和“一张图”的管理理念，通过煤矿 GIS “一张图”汇集的监测监控、综合自动化、生产采掘接续、安全管理等数据，建立了相应的预警模型，在人机环管四

大安全生产要素实现综合集成的基础上，以安全生产法律法规、煤矿开采规程规范以及行业、企业管理标准为依据，对煤矿安全生产相关的信息进行采集汇聚、关联分析、探索挖掘、概括推理、综合展示，发现目前存在的安全风险和隐患，诊断推理风险与隐患发生的原因及可采取的处理措施，根据历史和现势对未来的安全生产形势进行预判和预警，实现对煤矿安全生产形势的评估诊断、预警预判和辅助决策，提高煤矿的安全管控水平。

三、智能化建设成效

（一）智能综合管控平台成效



图 3 大数据分析

智能综合管控平台关键技术在华宁公司推广应用成效显著，主要体现在以下几点：

1. 生产层面，全面监控矿井安全生产状况，通过监测监控、综合自动化平台，实时监测人员、设备和环境的位置和状态。应用智能采掘技术，改变原有的生产方式，提高了生产效率。

2. 技术层面，“一张图”协同及时更新矿图安全生产信息，

地测、通风、采矿设计、供电等4个专业的辅助图形和数据处理应用系统，不但数据采集、数据处理自动化、规范化程度高，而且实现了图形集成服务与协同更新。大数据、融合通信等技术应用于灾害治理，应急避灾，提高了数据和图形处理的专业技术水平和应急响应能力。

3. 安全层面，实现了安全风险和隐患排查治理的分类分级管理，可以随时查询隐患排查、闭环管理、整改落实等情况，做到发现隐患，及时采取措施予以处理。基于多级架构的管理智能化，将风险实时监测和分级报警，智能化管理。

4. 管理层面，通过一张图数据的高度集成与共享，实现集中管控、协同调度；通过大数据分析和智能化分析，为管理层提供分析依据，为领导层决策提供支持。

5. 智能综合管控平台应用云计算和虚拟化技术，采用统一部署的方式实施，有效保证了煤矿数据安全，提高安全生产效率，及时准确的数据更新可以在煤矿安全生产指挥和管理中发挥更大的作用，为降低安全生产事故保驾护航。

（二）智能化建设成效

随着各项智能化项目的有序推进，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，大幅提高了综采和掘进工作面的速度与效率，现全矿井劳动组织由“三八”制改为了“四六”制，取消了夜班生产，实现了“一周双休”，全面实现“五天工作制”，实现了“少时则安”的目标，为下一步实现“以机械化换人、自动化减人”奠定了坚实的基础。

案例 7 高河能源 5G “智矿通”项目

主要完成单位：山西高河能源有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

高河能源是由潞安化工集团和泰国万浦集团共同出资、潞安化工集团控股的中外合作企业。矿井于 2012 年 6 月建成投产，核定年生产能力 750 万吨。高河能源主采 3#煤层，平均煤厚 6.7 米，可采储量为 3.18 亿吨；矿井井田南北长约 13.4 公里，东西宽约 4.9 公里，井田面积 65 平方公里；采用立井开拓方式开采，低位放顶煤，埋深 480 米~560 米。煤尘具有爆炸性，自燃倾向性等级为Ⅲ类，属不易自燃煤层；矿井水文地质类型为中等，矿井属高瓦斯矿井；矿井辅助运输采用“电机车+无轨胶轮车+单轨吊”模式。

（二）主要内容

高河能源是潞安化工集团千万吨级大型主力矿井之一，2020 年入选国家首批智能化建设示范矿井，2021 年以矿井智能化建设为契机，联合中国移动创新开发了“智矿通”产品体系。

通过搭建一张数据内网，将矿井的生产办公数据进行汇聚，并通过一个 APP 建立统一入口，以数据为核心带动矿井智能化水平不断提升，全面提高了矿井安全管理水平、经营运营水平，实现了“降本增效、提质增安”。

1. 一张智矿通 5G 网络

高河能源重点打造智矿通 5G 网络覆盖，为全面建设智能矿

山打下坚实的网络通讯基础。创新地以“井下尊享+井上专享一张5G网”为底座，提供语音+数据一张网。如图1所示。

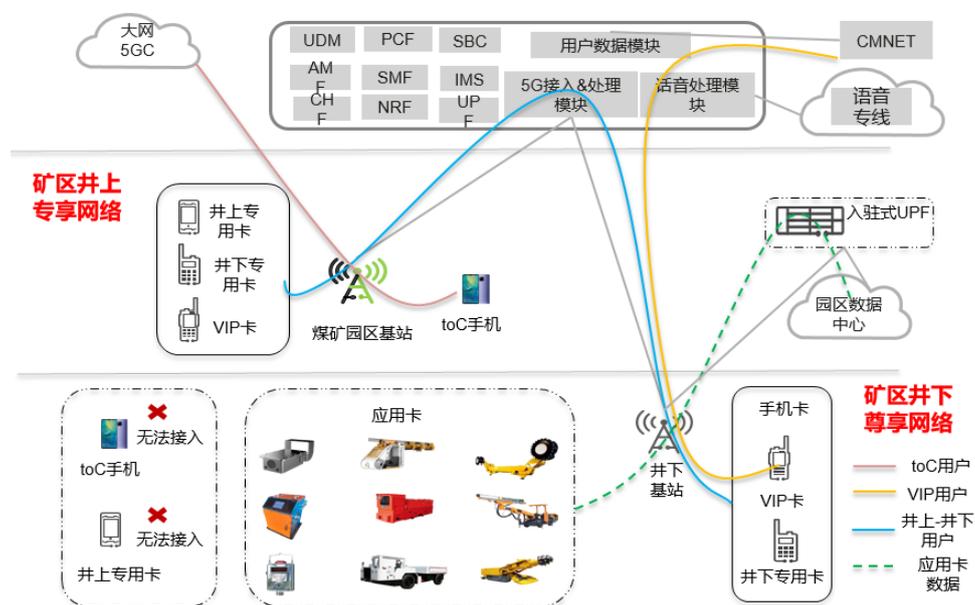


图 1：智矿通 5G 专网组网拓扑

核心网部分：井下和园区 5G 基站通过数据专线、语音专线连接到智矿通核心专网，为井上下用户提供专网数据和语音业务。

(1) 传输部分：通过自建 SPN 全光工业环网综合承载矿区无线和有线的视频、控制、传感等各类业务数据，提供安全稳定的传输服务。

(2) 无线部分：

1) 井上无线部分：使用移动大网基站，接入智矿通核心网，提供井上智矿通 5G 专网服务。

2) 井下无线部分：井下自建 5G 通信设备（隔爆型 BBU+RHUB+PRRU）实现井下无线覆盖，为矿井井下各类 5G 应用场景提供大带宽、低时延、广连接、高可靠的智矿通 5G 专网服务。

2. 一个智能灵活的 APP

依托井上井下一张智矿通 5G 网络，高河能源打造了一个面

向日常生产办公使用的统一 APP 入口，APP 以办公场景、企业沟通为核心，具有高品质的办公应用，比如考勤打卡，审批等功能，可以全方位满足高河在线办公需求，提高了数字化管理水平，降低办公运营成本。同时秉持“安全第一、预防为主”的理念，依托感知网络数据，融合安全生产风险要素，结合智能识别、大数据等先进技术，实现了安全生产风险的综合监测、智能评估、远程监管的闭环管理，能够闭环处理矿井安全问题的发现、解决、核查和消除全流程。

3. 一个开放多元的生态圈

潞安化工集团联合中国移动构建了一个开放多元的生态圈，生态圈以智矿通网络、APP 为抓手筑巢引凤，带动省内、外上下游企业融入“智矿通”生态，吸引行业合作伙伴共同打造融合通信、生产作业、监测监管、应急救援等典型 5G 应用场景，丰富 5G 矿井生态圈。

4. N 种形态丰富的终端

“智矿通”在高河的语音通信、视频通话、生产调度、巡检作业、环境监测和应急救援六大场景，落地了包括单兵装备、监测设备、融合通信、传感终端四类智能终端。

（1）单兵装备类终端

单兵装备类终端部署了矿用本安型 5G 手机、矿用手环、智能头盔、矿用 AR 眼镜。如图 2 所示。

矿用本安型 5G 手机



5G 语音、高清视频通话

矿用手环



生命体征监测

智能头盔



调度指挥、拍照取证

矿用 AR 眼镜



智能巡检、远程指导

图 2 单兵装备类终端

(2) 监测类终端

监测类终端部署了矿用高清摄像头和矿用 5G+巡检机器人。如图 3 所示。

矿用 4K 高清摄像头



高清视频数据无线回传

矿用 5G+巡检机器人



实时监测、智能识别

图 3 监测类终端

(3) 融合通信类终端

融合通信类终端部署了 5G 模组、矿用 CPE、工业网关，实现了“万物互联”。如图 4 所示。

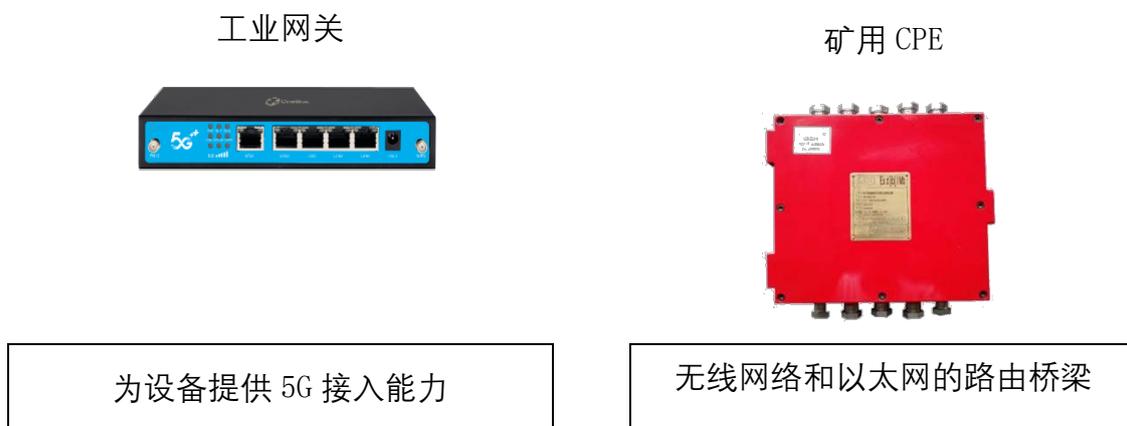


图 4 融合通信类终端

（4）传感类终端

传感类终端部署了矿用无线传感器以及矿用车载终端。如图 5 所示。



图 5 传感类终端

二、技术特点及先进性

（一）技术特点

1. 智矿通 5G 网络

智矿通 5G 网络是集中云化的算力网络，采用分层云部署方式，合理规划网元资源需求，既可以满足软件功能的高可靠性，又可以满足平台后续功能的平滑演进，网络建设充分利用设备硬

件资源，考虑到建设成本节省。

2. 智能灵活的 APP

智矿通 APP 基于云原生的微服务架构，提供算力资源，支持灵活的生态集成方式，兼顾未来平台扩展性和生态融合能力。用户管理层面~~通过单点登录打通用户体系，实现一个账号多系统互认互通；数据集成层面~~通过丰富的数据传输协议支持，实现多源异构数据的汇总与统一服务；数据开放层面~~支持将内部数据以标准格式导出至第三方系统，具备良好的兼容性和扩展性。智矿通 APP 开放 API 接口，满足矿区日常办公、生产作业和经营管理等智能化应用的统一接入和部署，支持手机、平板等移动终端的部署。

3. N 种形态丰富的终端

依托智矿通 5G 网络，通过 5G 新调度系统实现单兵装备、监测设备、融合通信、传感器等各类终端的统一接入、统一管理和统一调度，实现人与物、物与物之间的泛在连接。

（二）适用范围

高河能源智矿通 5G 网络适用于井下指挥调度、远程指导、应急救援等融合通信类场景。智矿通 APP 适用于日常办公、生产作业、监督管理、经营管理等智能应用场景。智矿通行业终端适用于语音通信、视频通话、巡检作业、环境监测和应急救援等场景。

1. 先进性及成熟度

项目充分发挥示范引领作用，以国家智能化示范矿井为目标，依托 5G 智矿通网络，成功打造全国首个基于 5G VONR 的矿山 5G

专网，技术水平全国领先。智矿通 APP 是矿山行业首个免费、共享的智能应用市场，开放 API 接口，满足各类 APP 应用接入使用、统一管理。

2. 国产化程度

智矿通网络、智矿通 APP 由高河能源联合中国移动、华为技术有限公司等国内产业行业伙伴自主研发，产业链全部实现国产化。

三、智能化建设成效

高河能源联合中国移动构建的 1+1+1+N“智矿通”产品体系，以“1 张智矿通 5G 网络、1 智能灵活的 APP、1 个开放多元的生态圈、N 种形态丰富的终端”为整体架构，推动了 5G、人工智能、大数据、物联网等一系列新技术与矿井智能化深度融合，为高河能源的安全生产和管理注智赋能，加快了高河数字化、智能化建设进程。主要成效体现在安全作业、工作关怀和智能便捷三方面。

（一）安全管理

智矿通 5G 网络独立部署的调度系统与矿井生产调度业务紧密配合，可根据井上、井下的生产、办公等各类作业场景，分配不同权限的通信业务，实现矿区内外的通信精准管控，有效提升了高河指挥、调度及应急响应的能力。

（二）工作关怀

智矿通 APP 目前已实现健康检测、日常学习、作业监管、订餐出行和打卡考勤等应用场景，体现了智能化应用对矿工生活和工作的关怀，提升了矿井工人的工作效率和井下安全生产水平，让矿工有更多的获得感、认同感和幸福感。

（三）智能便捷

智矿通行业终端具有安装简单、易于携带、智能方便的特点，应用在语音通信、视频通话、生产调度、巡检作业、环境监测和应急救援六大场景，提升了井下作业的智能化水平和效率，有效节省了人力、物力、时间成本，同时为作业人员提供全方位安全保障。

案例 8 韩咀煤业智慧生产调度指挥中心

主要完成单位：中煤华晋集团韩咀煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

中煤华晋集团韩咀煤业有限公司是中煤华晋集团有限公司全资子公司，位于山西省临汾市乡宁县西坡镇，由原山西乡宁谭韩煤业有限公司、菩萨滩煤业有限公司、峰鑫煤业有限公司、宇田煤业有限公司（十关闭矿井）四座煤矿与部分新增资源（原王家岭井田）重组整合而成，整合后井田面积为 25.2245km²，批准开采 2#~10#煤层，目前主采 2#煤层设计可采储量为 124.12Mt，设计生产能力 120 万吨/年，服务年限为 73.9a。矿井于 2011 年 11 月 30 日正式开工建设，2015 年 9 月 15 日开始联合试运转，2016 年 6 月正式投产。采煤工作面采用综采放顶煤开采工艺，掘进工作面采用综掘施工。

（二）建设内容

1. 项目概述

智慧生产调度指挥中心是安全生产的“千里眼、顺风耳”、协同联动的“传令员”、决策支撑的“好参谋”，是实现“全时空、全要素、全过程、可视化、智慧化、持续化”的智能化矿井运行管理模式的先决条件。

2. 实施背景

原韩咀公司调度中心功能单一，各部门系统“条块分割”，各业务数据“烟囱林立”，综合自动化管控平台数据质量“参差

不齐”，已不能满足日常调度、应急指挥、远程会商、信息研判等智能化矿井使用需求。

3. 实施内容

基于上述问题，韩咀公司提出了一整套方案：以智慧调度为中心，设置智能采掘区、一通三防区、机电运输区、综合调度区四大功能区域，配套信息机房、智慧会议室等服务和扩展设施；搭建一个调度指挥中心、八个业务（采、掘、机、运、通、地测、防治水、销售）、N 个辅助子系统的“1+8+N”立体化指挥架构。通过技术、业务、数据深度融合，立足日常和应急两种状态，打造安全高效的“感知中枢”、纵横联动的“协同中枢”、统一指挥的“控制中枢”、科学精准的“决策中枢”，实现全领域感知、全方位可视、全链条掌控、全过程调度、全时空指挥、全环节智学“六大功能”的智慧中心。

二、技术特点及先进性

（一）智能管控平台

搭建华为虚拟化平台对服务器资源进行动态分配，实现信息系统冗余，确保系统不间断运行。建设智能管控平台，深度融合 IT 系统和 OT 系统，通过对信息系统数据的统一采集、处理、存储、分析，实现安全生产的全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测，形成韩咀公司采掘、机电、运输、一通三防、安全保障、经营管理等生产全过程的智能化运行模式。如图 1 所示。



图 1 智能管控平台

（二）办公协同化

建设分布式坐席管理系统，通过信号采集、显示、处理、传输等，促进人员与设备的交互协作，达到人机隔离、可视化管理、一人多屏、一屏多机、协同办公、权限管理、信息共享、集中控制的使用需求；以分布式坐席管理系统为基础，联动智慧会议系统，实现集团内部会议中各系统的可视化，为领导决策、分析提供依据；与腾讯会议互联互通，实现云上云下互动，为远程跨地域、跨企业、领导层等多种视频会议提供稳定支持。如图 2 所示。



图 2 协同办公示意图

（三）智能化设施

韩咀公司智慧中心建有一块综合主屏，两块功能副屏，涵盖八大业务、25 项子系统，实现了作业现场安全生产可视化管理。利用智能中控平台形成 AI、互联双中枢，中心总指挥的主要控制；语音+智慧 App，实现了硬件设施的集中管理、自然交互；蓝牙 mesh 组网协议，连接灯、窗帘、空调等设备，实现了智慧中心智能场景控制。如图 3 所示。



图 3 智能化设施

（四）网络安全态势感知

为夯实网络安全基础，保证各系统、数据、网络安全，建设网络态势感知平台，实时掌握矿区控制区和管理区安全态势，监测核心网络节点的风险隐患及入侵威胁，及时上报网络安全异常状况，实现“实时管控、纵深防御”的安全措施，全面提升“外部侵入有效阻断、外力干扰有效隔离、内部介入有效遏制、安全风险有效管控”的防控目标。如图4所示。

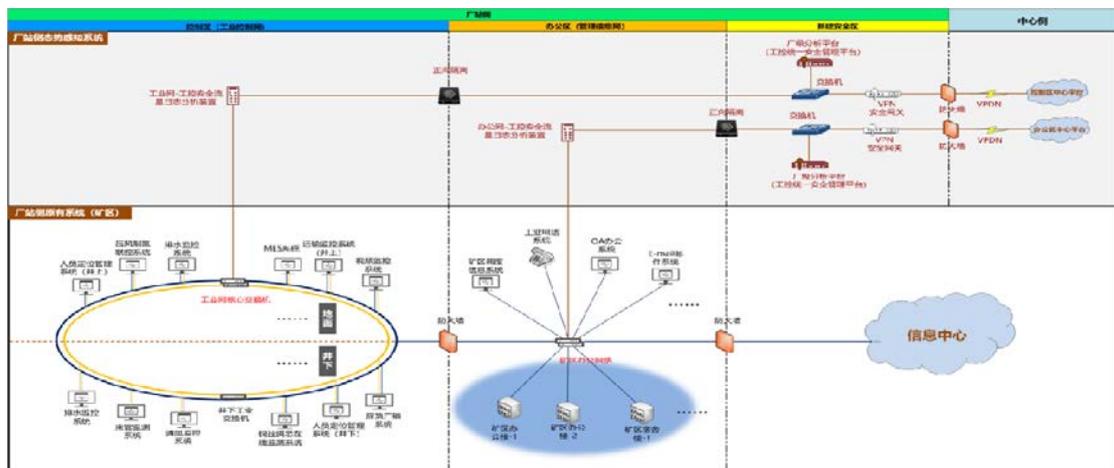


图4 网络拓扑图

三、智能化建设成效

（一）统一采集、处理、存储、分析矿山各类数据，形成海量数据资源池，实现信息多维度在线分析、挖掘和可视化表达，为安全、生产、经营提供服务。以“减人、增效、保安”为目标，利用智慧中心，实现了排水、供电、压统、主运输、销售等5大系统10个岗位的无人值守，现阶段减少岗位运行人员23人。

（二）通过表格、图形、视频等多种数据形式，展示煤矿生产调度、安全监测、生产运行监控等信息，全面反映矿井生产、安全、经营状况；增强了各业务部门之间的协同，提升了调度指挥效能，实现了矿井安全生产管理过程的可视化。

（三）立足日常调度、应急指挥，实现了各业务系统互联互通、信息共享，形成了公司与各业务部门应急联动处置的网格，实现了统一指挥、统一协调、专业处置的应急联动机制，进一步提升了公司应对各类突发事件及矿井安全生产的协调指挥和应急处置能力。深入贯彻党中央关于网络强国的重要思想，韩咀公司网络安全保障体系和能力持续提升，网络强企建设迈出新步伐。

案例9 沙曲二矿数据中心

主要完成单位：华晋焦煤有限责任公司沙曲二号煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

沙曲二号煤矿隶属于华晋焦煤有限责任公司，由原沙曲矿南翼 120 万吨/年的生产系统改扩建为设计生产能力 300 万吨/年的矿井，于 2018 年 3 月 15 日改扩建验收投产，于 2018 年 3 月通过竣工验收。2020 年 8 月，核定生产能力为 270 万吨/年。井田位于河东煤田中段、离柳矿区西南部，行政区划属于山西省吕梁市柳林县管辖。

历经 5 年的艰苦奋斗，已发展成为一座国家级绿色矿山、国家一级安全生产标准化矿井、国家级安全高效特级矿井、国家自然资源部智能化贯标示范单位、山西省智能化矿井、山西省属企业文明单位。

（二）建设内容

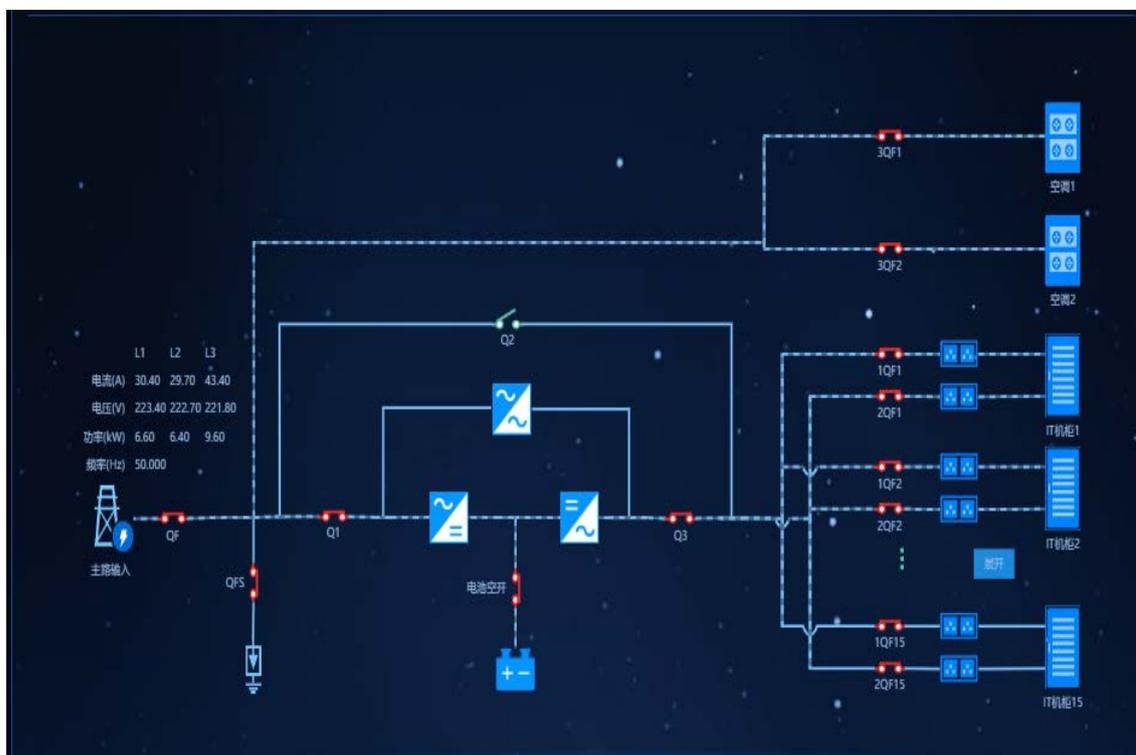
沙曲二号煤矿数据中心机房位于联建楼 9 层，占地面积约 54 平方米，机房于 2015 年 3 月开工建设，2015 年 7 月竣工。2021 年 11 月在原有基础上对机房进行升级改造，于同年 12 月底完工。模块化数据中心机房严格按照《数据中心设计规范》（GB50174~2017）B 级机房标准设计，采用智能微模块数据中心解决方案进行建设，打破了传统机房建设模式，采用一体化集成理念，集成了供配电系统、制冷系统、安防系统和综合布线。机房内设计一组冷通道封闭模块化机房，包括 1 台一体化 UPS 柜、

15 台 IT 机柜、2 台行级专用精密空调。



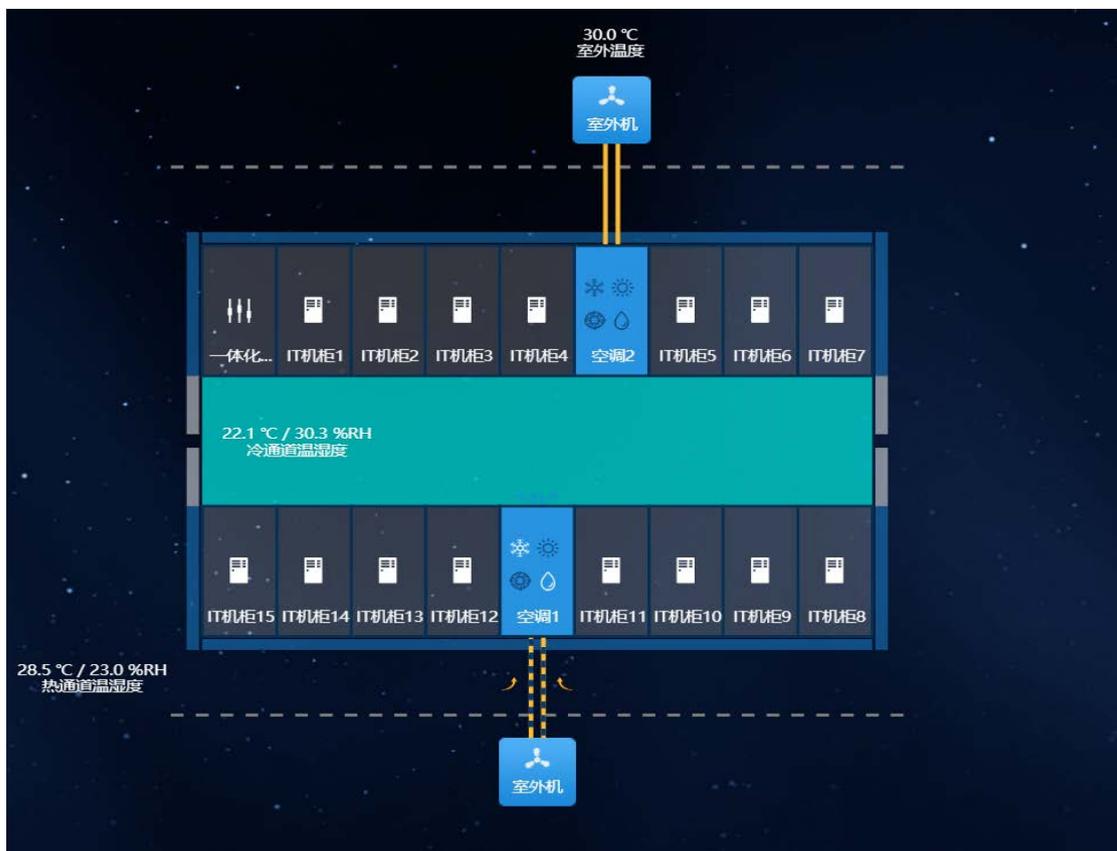
1. 供电系统

模块化机房为双回路供电，同时在本机配有 UPS 后备电源，UPS 机头输出功率为 60kVA，采用 2+1 冗余配置，后备 6 组电池，容量 600AH，能在突发停电的情况下继续为用电设备提供持续的稳压电，从而保障业务不受影响。



2. 制冷系统

模块化数据中心采用 2 台行级专用精密空调水平送风，并实现定时切换，行间空调通过点对点精确制冷直接送至服务器机柜，确保了对数据中心制冷能力的支持。



3. 安防系统

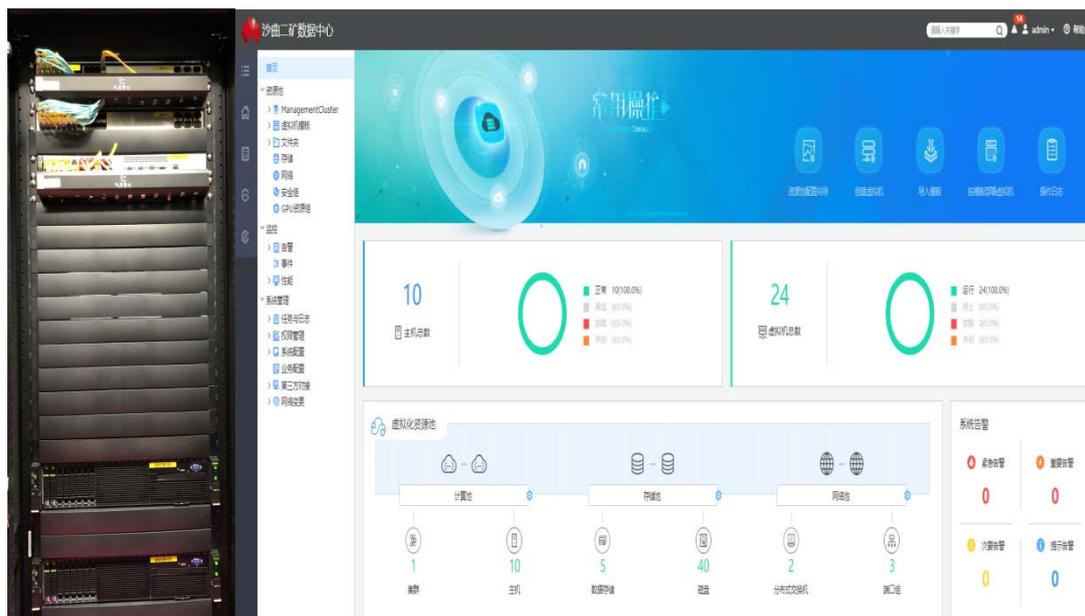
机房中配置有环境监控系统，能对实现对机房内供配电、智能温控产品、温湿度、漏水检测、烟雾、现场画面等进行 24 小时持续监控；同时机房内还安装有灭火系统和消防报警控制系统，加强了机房的安全防护水平。



4. 云数据中心

(1) 虚拟化配置

沙曲二号煤矿虚拟化数据中心由 10 台虚拟化服务器、2 台生产存储、2 台业务交换机、2 台存储交换机和 1 台灾备一体机组成。通过在虚拟化服务器上安装华为 FusionSphere 虚拟化平台软件，实现计算虚拟、存储虚拟和网络虚拟。虚拟化数据中心改变了原有矿井各系统独立布置的缺点，实现了资源整合，并为矿井未来更多信息化系统的建设提供了充足的基础资源。



（2）虚拟化数据中心优势

1) 提高了资源利用率

通过将服务器物理资源抽象成逻辑资源，将CPU、内存、磁盘等硬件变成可以动态管理的“资源池”，不再受限于物理上的界限，灵活调配，实现服务器整合，提高资源利用率。

2) 降低了管理成本

通过虚拟化数据中心建设，实现了各业务系统的统一管理和统一运维，促进了煤矿信息化从粗放式、离散化的建设模式向集约化、整体化的模式转变，从而减少了设备维护所需的人力资源消耗。

3) 提高了使用灵活性

通过虚拟化数据中心可以随着矿井各业务系统工作负载的动态变化来调整资源的供给，实现资源的按需分配，满足不断变化的业务需求。

4) 提高了安全性

虚拟化数据中心具有透明负载均衡、动态迁移、双活存储、

故障自动隔离、系统自动重构的高可靠服务器应用功能，提高了系统的可靠性，确保了业务系统运行的连续性和安全性。

二、智能化建设成效

沙曲二号煤矿数据中心通过模块化机房建设、虚拟化平台建设与网络安全升级改造等一系列改造措施，使得沙曲二号煤矿从办公网、煤炭专网到生产网形成统一规划、统一管理的良好环境，在降低运维成本的同时，也为煤矿的智能化矿山、5G、无线等建设打好良好的运行环境，在保障煤矿安全稳定运行的提前下，为企业的高速、高质量发展提供坚实的基础。推动安全、产能、效率、素质、管理全面提升，实现了安全生产“零”目标，矿井整体呈现出稳中加固、稳中向好的发展态势。

案例 10 三元煤业数据治理服务

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）矿井概况

晋能控股煤业集团三元煤业始建于1984年，1996年6月试生产，1997年9月正式验收投产，井田面积19.8平方公里，批准开采3#~15#煤层，保有储量3.06亿吨。煤层赋存条件良好，煤层倾角 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，现开采3#煤层，可采储量3897万吨，平均厚度7.18米。地质条件简单，水文地质类型为中等，属高瓦斯矿井，核定生产能力为260万吨/年。

（二）建设内容

我矿智能化矿井项目是根据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》和山西省发布的《2022年度全省深入推进煤矿智能化建设工作方案》、《智能煤矿建设规范》以及《山西省煤矿智能化建设指导手册》的基础上，进行规划。在信息基础设施、地质保障系统、掘进系统、综采系统、主运输系统、辅助运输系统、综合保障系统、安全管控系统以及经营管理系统九大版块的基础上，增加了智能洗选和创新应用版块，共计11个版块，37个项目。

本次申报的案例重点介绍我矿在煤矿数据治理的创新和总结。

通过应用数据集成平台、数据仓库平台、数据治理平台构建智能矿山数字平台，并结合数据治理规划实施服务，持续沉淀数

据资产并基于数据进行业务创新，将数据和业务应用解耦，具体建设内容包含一下内容：

1. 应用数据集成平台 ROMA

应用数据集成平台的定位是集成数据、服务和各种应用的平台，提供消息、数据、API 等集成能力，完成企业数字资产的融合集成。

数据集成：支持多种数据源（文本、消息、API、关系型数据和非关系型数据等）之间的灵活、快速、无侵入式的数据集成。

消息集成：基于 Kafka 协议，使用统一的消息接入机制，提供标准化消息通道。

服务集成：将数据以 API 形式开放，简化分享数据或提供服务的过程，提升应用与数据湖对接的效率。

2. 数据仓库 DWS

数据仓库为用户提供数据的采、存、管、算、用端到端的能力，支撑矿山数据的统一汇聚，持续提升数据质量，面向各业务应用统一提供数据支撑，并深度挖掘数据价值，助力智能矿山建设，具体包含以下几个部分：

数据汇聚：包括批量数据集成和实时数据集成，可将各类业务系统的多种异构数据源通过专业工具抽取到数据存储层。

数据存储：支持海量数据存储能力，支持自适应压缩算法和多种压缩级别，使数据的存储更具性价比，且支持行存储和列存储满足多种数据分析场景需求。

数据计算：采用分布式处理架构，包括服务器、进程、线程 (SMP)、指令 (LLVM) 等多层级数据并行处理，支持标准 SQL 语法，

包括自定义函数、存储过程等，支持向量化执行以及行列混合引擎，提供高效的数据分析计算能力。

3. 数据治理平台 DGC

数据治理平台用于对数字平台中的各类业务数据进行统一的数据治理，支持批量数据的集成，支持脚本开发、作业编排、任务调度等数据开发能力。

批量数据集成：通过批量数据集成系统，实现数据批量采集，支持库表接入、文件接入等资源批量采集，其中库表类型资源支持增量、全量两种方式进行数据同步。支持对汇聚的数据同步到其他数据处理系统，通过数据采集系统创建数据采集接入的数据集成任务，完成数据的采集接入。系统支持按照资源目录的结构，实现数据采集任务的管理，提供便捷的数据检索能力。

数据开发：数据开发工具用于实现数字平台建设的基础工具；主要是采用组件化设计，适配云平台及主流数据库，提供统一的抽取、整合插件和准实时监控组件，满足作业流程的快速配置方案构建，具备高吞吐、高可用、高扩展特性，可以为海量数据的超大规模数据仓库建设提供抽取、整合、清洗、入库等集成业务，支持一站式编排、调度、运维管控，实现数据集成、脚本开发、 workflow编排、作业调度、运维监控、数据管理等一站式操作，无须切换多个工具。使用数据开发平台，用户可进行数据表管理、脚本开发、 workflow编排、运维监控等操作，轻松完成整个数据的处理分析流程。

二、技术特点及先进性

数据体系及其标准规范是智能化建设的基础，将直接关系到

整个智能矿山数据共享、系统集成、信息融合与联动应用的成功与否，关系到矿山智能化建设的持续接入与应用扩展。因此，有必要在信息化标准体系框架范围内重点关注数据标准化工作。

当前的生产安全系统以生产流程为主独立建设，数据独立存在于各个系统中，无法实现数据的融合智能分析。各系统数据标准不一致、数据质量参差不齐难以有效的进行跨系统共享，缺少对生产安全的智能化分析，无法实现系统间的智能联动和生产经营数据一体化分析。

三元煤业通过融合新 ICT 技术，基于大数据平台将各模块能力封装成服务，为业务应用提供共性平台能力的支撑，将各类智能应用从平台重复建设和繁复对接中解脱出来，聚焦在业务实现即可，为未来实现智能感知数据与智能应用系统之间的纵向贯通，安全监控、智能生产与精准定位等各类智能化业务应用系统的横向扩展奠定坚实基础，打通生产自动化与安监数字化，并将各类数据服务通过标准的服务接口开放给应用系统，并为未来新的智能化应用提供持续扩展能力。

三、智能化建设成效

（一）完成供排水、局部通风等 26 个系统的数据入湖，为人工智能主运、电子围栏等应用快速调用。

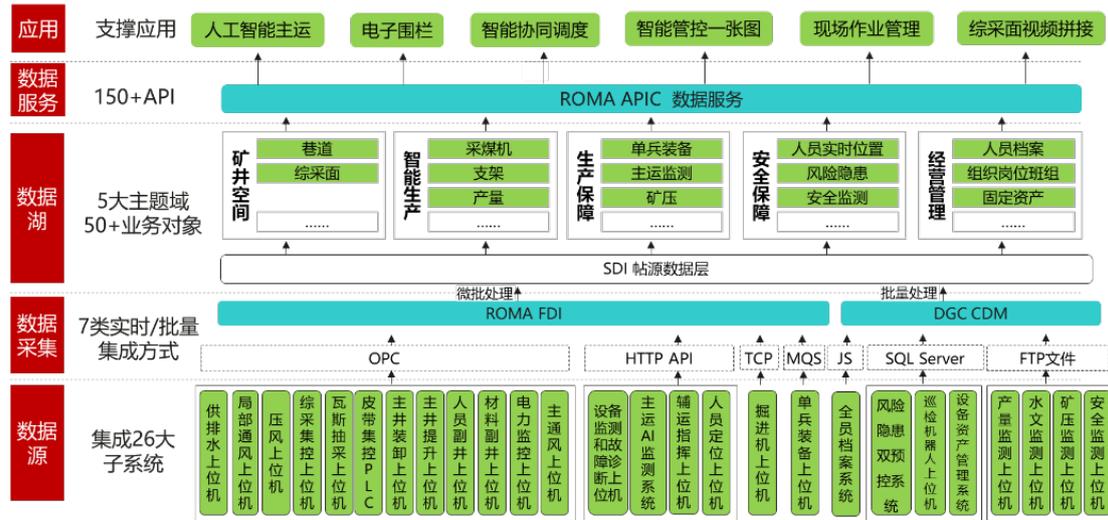


图 1 数据治理架构图

（二）统一基础数据，对多个数据源系统数据进行整合，消除数据差异，封装成唯一的数据接口提供给上层应用，避免各系统使用同一种数据时，因为数据来源不同而造成差异。

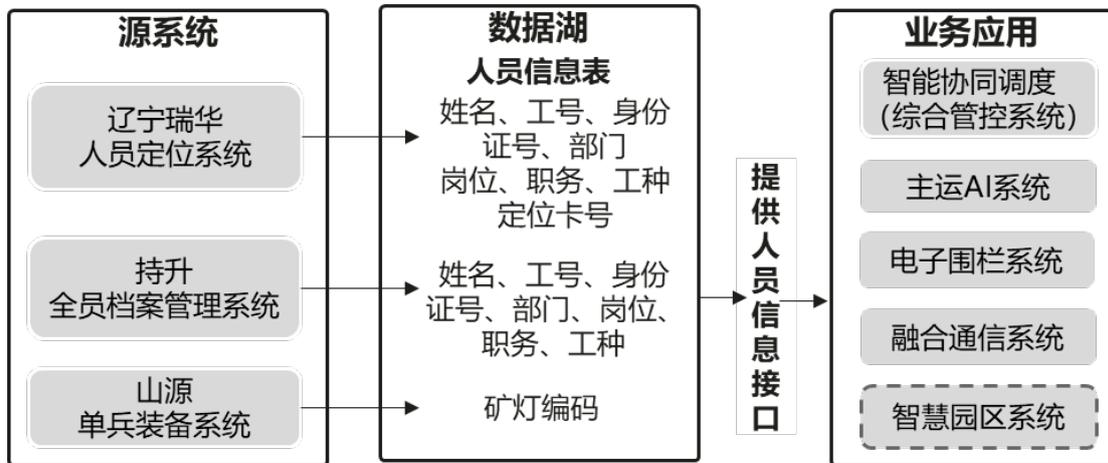


图 2 人员信息数据整合举例

（三）数据入湖后，新应用只需要调用提供的标准接口，即可实现应用快速上线，支撑我公司快速扩展智能化新应用。

第二章 智能掘进系统建设

案例 11 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矿

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。如图 1 所示。

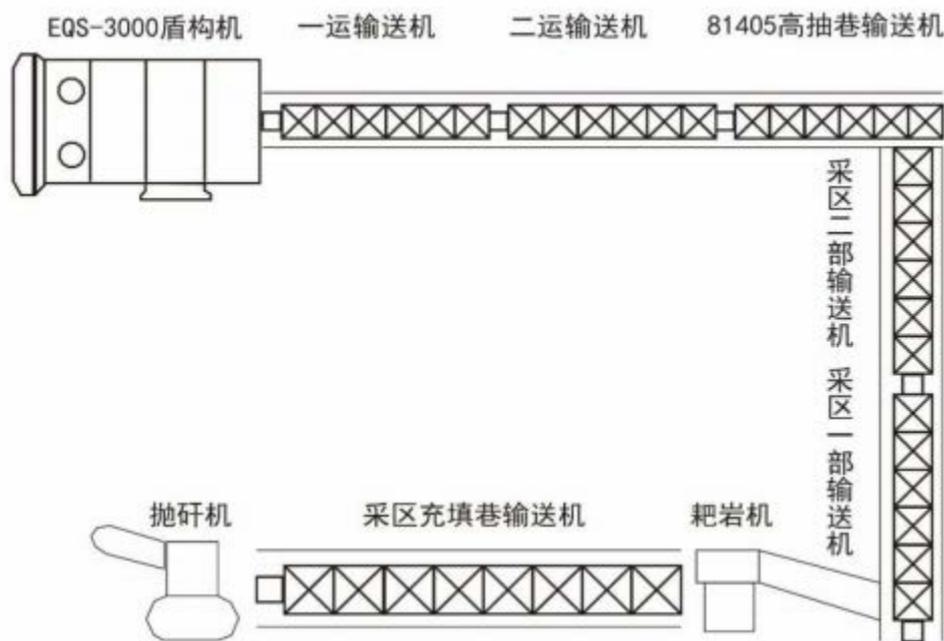


图 1 81405 高抽巷智能化快速掘进系统构成

(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

1. 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。

2. 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。

3. 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。

4. 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）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）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）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）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。如图 2 所示。

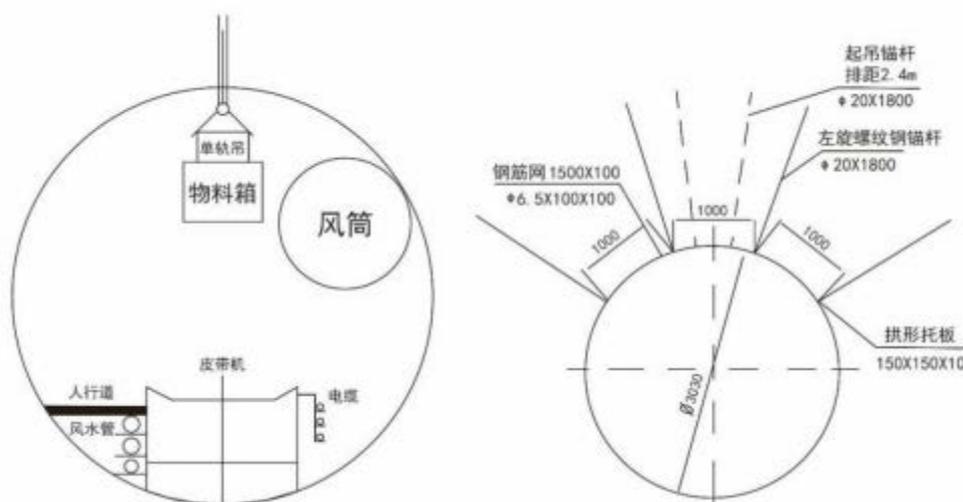


图 2 巷道断面布置及支护图

三、智能化建设成效

（一）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）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）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 12 新景矿煤业 TBM 全断面快速掘进

主要完成单位：山西新景矿煤业有限责任公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西新景矿煤业有限责任公司，隶属于华阳新材料科技集团有限公司，矿井公示生产能力为 450 万吨/年；主采 3#、8#、9#、15#煤，属于煤与瓦斯突出矿井；煤层均无煤尘爆炸危险性；水文地质类型中等；矿井开拓方式主斜副立；矿井划分为两个水平，一水平为+525m，主要开采上组煤和芦湖北分区与张家岩北部的 15 号煤层；二水平为+420m，主要开采芦湖南分区、佛洼分区、保安分区和张家岩分区南部的 15#煤层；采煤工艺为综采一次采全高，综采放顶煤。

（二）建设内容

1. 掘进工作面地质条件。保安 3 号煤南回风巷设计布置在保安 3 号煤层以上 11~14m 位置处，施工中以中粒砂岩或细粒砂岩作为顶板，在砂岩中掘进，巷道设计断面为圆形，圆直径为 4.53m，巷道设计长度共计 1529.51m（平距）。服务年限为保安 3 号煤采区所有工作面结束为止。

2. 掘进装备。采用北方重工生产的 QJYC045M 全断面快速掘进机（TBM），开挖直径 $\Phi 4.53\text{m}$ ，总长 73m，总重 500t。由刀盘、驱动、护盾、大梁、撑紧推进机构、后支撑机构、支护机构、后配套拖车等构成。具备防尘系统、液压系统、润滑系统、冷却系统、出渣系统、甲烷监测系统、电控系统等系统构成，是集掘进、

支护、出渣、导向、防爆技术于一体的高度机械化、自动化的大型设备。设有起动报警装置、瓦斯监控与闭锁系统、刀盘驱动传动系统过载保护装置；油泵电机和驱动电机之间启、停顺序，在电控系统中进行互锁，液压系统设有压力、油温、油位显示等保护装置，电控系统设有紧急切断和闭锁装置，掘进机设有除尘喷雾系统，并有过滤装置。配备完善的传感监测系统及智能化控制系统，可实现掘进机的智能化控制。

该设备适用于水文地质条件简单区，在突出矿井巷道层位要选择距煤层7米以外的稳定坚硬岩层，施工坡度 $\pm 10^\circ$ ，正常坡度调整每15米 $\pm 1^\circ$ ，最大坡度调整每10米 $\pm 1^\circ$ 。

3. 远程集控平台

(1) QJYC045M型全断面快速掘进机的电气控制系统采用可编程逻辑控制器(PLC)，PLC可对采集的数据进行快速准确的处理，并将数据传到监控界面上显示，当“连锁”条件满足时对应的控制信号输出，实现系统动作的控制。

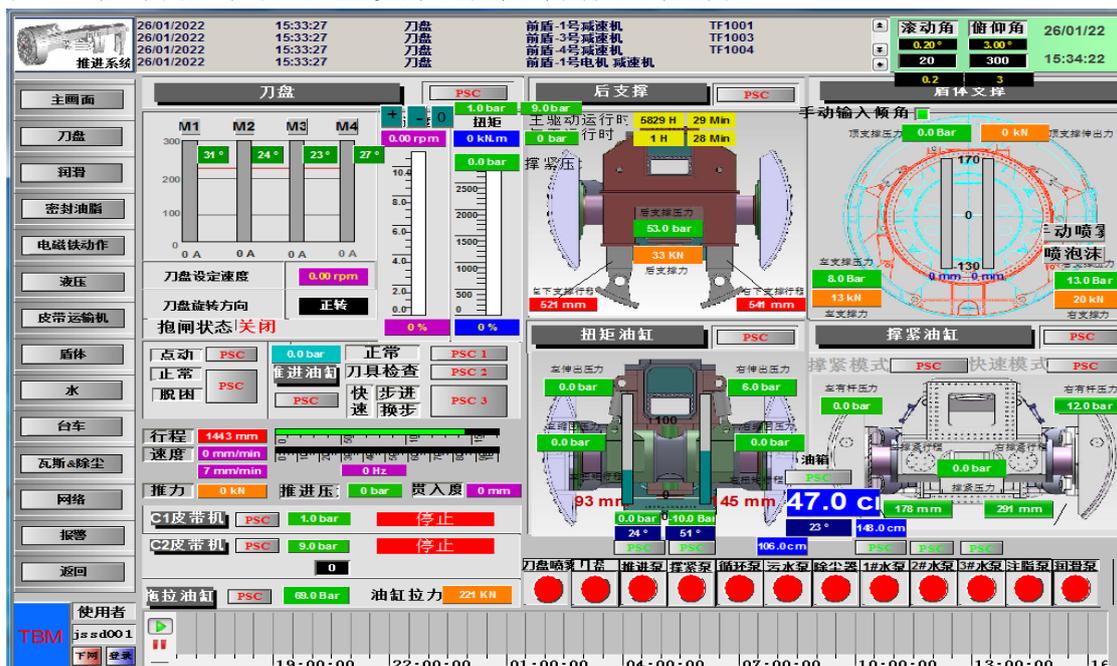


图 1 TBM 控制系统主界面

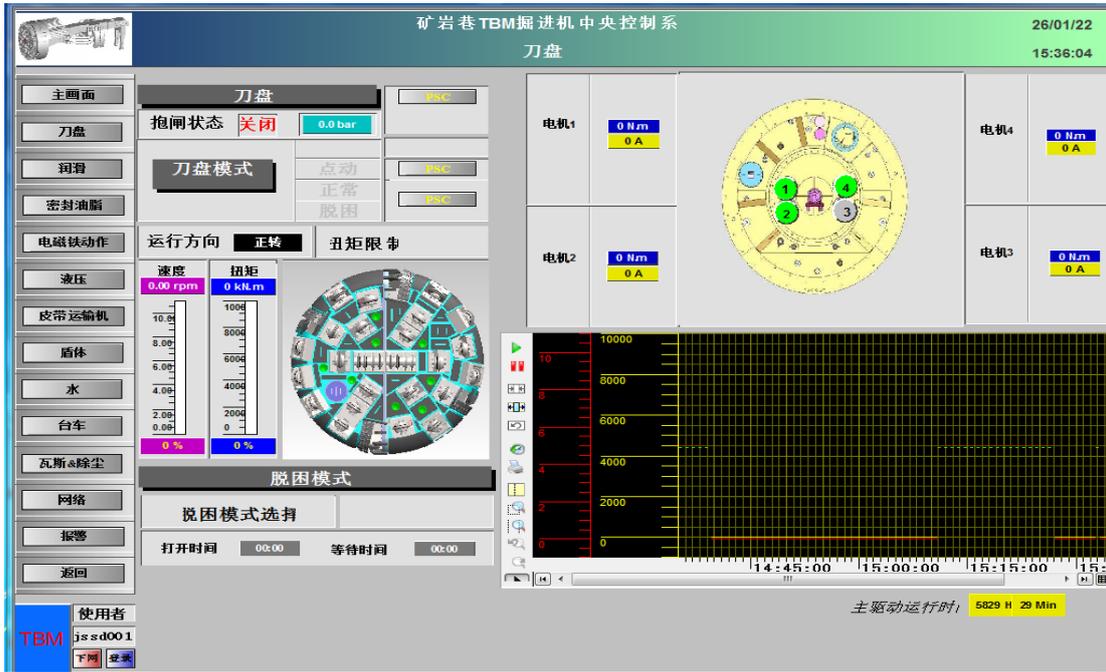


图 2 TBM 中央控制系统

(2) 集控平台具备对巷道掘进设备进行远程操控的功能，具备所有设备“一键启停”、单机可视操控、多机协同控制、远程集中控制和流程启停功能。

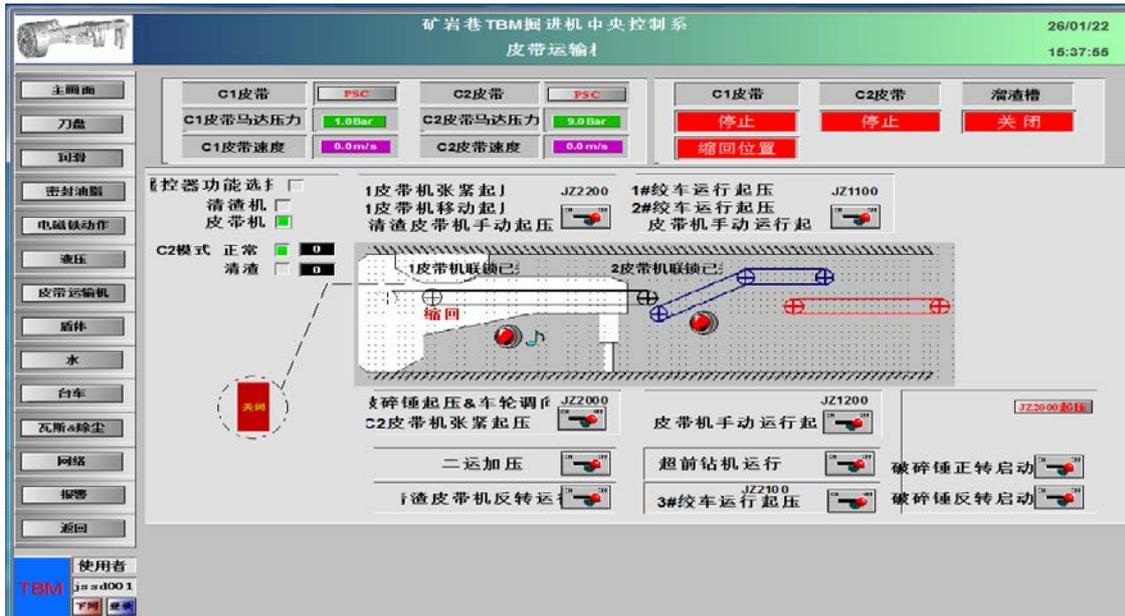


图 3 TBM 中央控制系统

(3)集中控制系统在顺槽建立控制中心,供电电源 AC 127V,宽幅输入 AC 85V~265V。内设 2 台服务器主机、2 台显示器,显示内容包括:掘进机工况和姿态、掘进头视频、运输机工况、供配电设备工况等,对运输设备进行集中控制,可实现对各系统程序及参数的在线升级和修改。

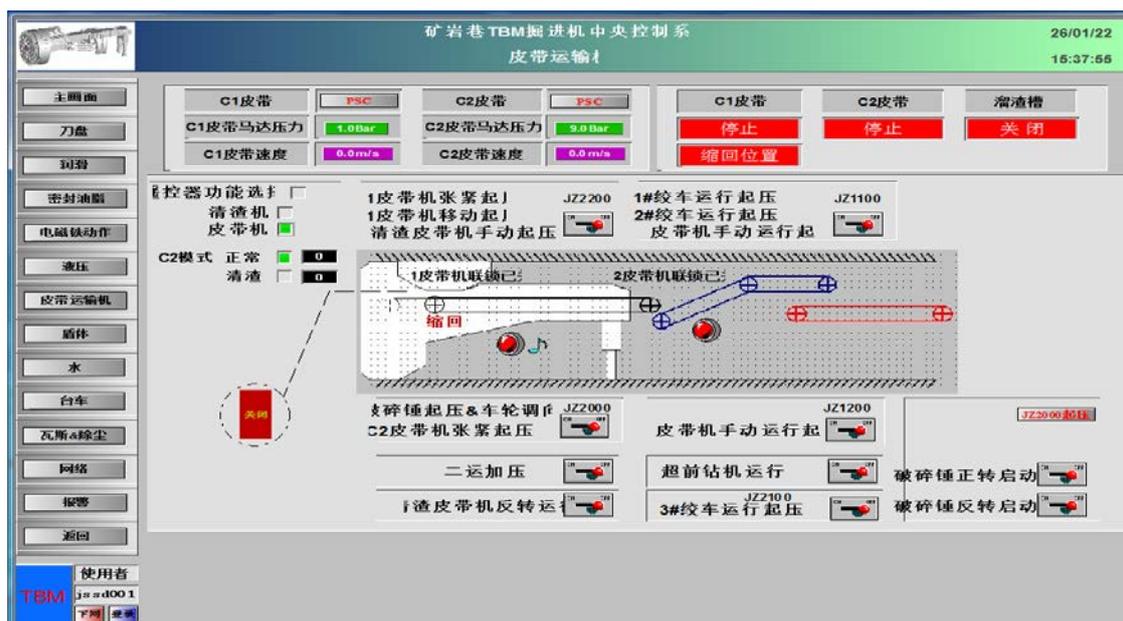


图 4 TBM 中央控制系统

(4)工作面设备与监控中心各主控计算机的通信状态显示,工作面供配电设备保护信息显示,包括漏电、断相、过载、各种故障状态、数字信号的反馈等,工作面煤流运输系统状态显示,包括沿线急停状态显示和断路位置显示。

(5)可在井下监控中心及地面分控中心实现工作面转载点、掌头等重要作业地点实时视频监控,具有单画面、多画面多种显示方式,监控记录可实时存储并可查询历史记录,建成“无监控不作业”,作业行为受监督的可视化作业环境。

(三) 危险区域人员接近防护系统

1. 实现在掘进工作面大型移动设备交替作业,环境粉尘浓度

大，产生部分视觉盲区的条件下，移动设备接近人员时自动减速或停机的功能，避免发生人身伤害事故，同时跟踪人员数量： > 10 人。

2. 具备人员精准定位功能，探测距离： $\geq 50\text{m}$ ，测距精度： $\leq 0.5\text{m}$ 。

3. 实现危险区域电子围栏的功能，实现作业人员与设备、设备与设备危险接近时的双向声光预警功能，报警延时： $\leq 1\text{s}$ 。

二、技术特点及先进性

新景公司自 2017 年 11 月开始在保安 8#煤南回风巷使用 QJYC045M 型全断面掘进机至今，已完成四个掘进工作面的施工工作，分别为保安 8#煤南回风巷、保安 8#煤北回风巷、保安佛洼瓦斯管联络巷、保安 3#煤南回风巷。总进尺 10987 米，最高月进尺 562 米，最高日进 31.5 米，是传统施工效率的 6.2 倍，均创当时国内煤矿应用最高水平。下一步计划于 15231 高抽巷布置 EQS3530 型全断面掘进机进行施工。

QJYC045M 型 TBM 掘进机由北方重工集团有限公司制造生产，由刀盘、驱动、护盾、大梁、撑靴推进机构、后支撑机构、支护机构、后配套拖车等构成，是集掘进、支护、出渣、导向技术于一体的高度机械化、自动化的大型设备，可实现智能化掘进满足智能化掘进工作面建设基本需求。岩巷应用 TBM 掘进技术掘进速度优势明显、成型质量有保障，施工速度显著增加，大大提高了成巷速度，大幅减少职工劳动强度，改善巷道受力状况，为本质安全生产创造了条件。

三、智能化建设成效

（一）掘进机采用综合机械化掘进方式，具备自主导航、坡度追踪和自动截割功能，具备完善的传感器，执行器，能实现单系统或设备的远程自动化控制、工况在线监测、故障诊断功能，具备顶板临时支护功能，实现锚杆作业流程自动化，具备环境智能监测功能，具备环境监测环境数据智能分析以及掘、锚、运、支工序的智能联动，具备危险区域人员接近识别与报警功能。

（二）具备巷道掘进工作面三维地质模型构建功能，并根据掘进过程中揭露的实际地质信息与工程信息对模型进行实时动态修正，能够实现集控平台对涉笔的远程操控，一键启停及智能操控。

（三）掘进工作面单班作业人数为 8 人，智能化程度高，实现工作面少人为安的生产目标，TBM 全断面岩巷快速掘进机共安装 5 路视频，重点对运输系统、截割部位等进行监测监控，实现各系统智能化决策和自动化协同运行。

案例 13 寺家庄煤业智能化掘进系统

主要完成单位：山西阳煤寺家庄煤业有限责任公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

寺家庄公司是潞安化工集团下属骨干生产矿井之一，位于晋中市昔阳县乐平镇下秦山村。矿井井田面积 120.225 平方公里，可采储量剩余 5.8 亿吨，矿井核定生产能力 450 万吨/年。属于煤与瓦斯突出矿井。开采深度平均 500m，主采 15#煤，平均厚度 5.67 米，属不易自燃煤层，无煤尘爆炸性。水文地质为中等。采用主斜、副立联合开拓方式和一次采全高综采自动化生产工艺。

近年来，寺家庄公司将紧紧围绕集团发展战略，秉持生命至上、安全第一的理念，深入推行精益思想指导下的“算账文化”，建设本质安全型、稳产高效型、质量效益型、自主创新型、管理智慧型、人文共享型的现代化新型企业。

（二）建设内容

寺家庄公司以 15111 进风巷为试点，开展智能化掘进系统建设，建设内容主要分为四大部分：掘锚一体机数据采集与传输部分、中间运输部分、远程控制部分、工况环境监测部分。

1. 数据采集与视频传输部分

在掘锚一体机上增加位移传感器、动态倾角传感器、压力传感器、流量传感器以及“基于平行激光指向仪的视觉定位系统”，用于实现机身位姿感知、截割头位姿感知、液压系统压力监测、一运与星轮的卡链监测等功能。增加千兆网络交换机，用于掘锚

一体机所有监测数据的传输。

在机身位置上安装有4个高清摄像头，用于掘锚一体机左右铲板部、一运部、掘进头的视频监控，实现掘锚机前后部视频监控，所有数据采集均采用光纤传输。

配备数字远程语音通讯装置，接入矿井工业网络传输，实现地面集控平台、井下集控中心与掘进机三地实时语音对讲通话，具备掘进机机身周围音频信号的可靠采集与监听功能。



图1 地面远程控制系统

2. 中间运输部分

掘进工作面煤、矸石经过带式输送机自移机尾运送至顺槽输送机，该装置实现了掘锚一体机二运皮带机与后运带式输送机的快速推移和搭接，同时该装置可有效调节皮带跑偏，实现转载机和机尾的自行前移和校正，提高劳动生产率，使用安全、性能可靠，便于员工操作。



图 2 带式输送机自移机尾

3. 远程控制部分

远程控制系统分为井下集控中心和地面远程控制平台。在 15111 进风巷口安装有井下集控中心，内部配套智能控制平台软件 1 套，具备数字孪生功能，可利用三维建模仿真掘进机的位姿及截割状态；显示智能掘进工作面各类运行参数及系统参数设定；具备掘进机远程控制、一键启停、自主导航、自动截割功能；具备掘进机实时设备状态在线监测及故障诊断功能；系统具备数据存储与查询功能，参数存储不少于 1 年，并有数据分析趋势图及故障列表等功能。

地面掘进远程控制系统位于公司办公楼六层总调度指挥中心，安装有 4 块 21 寸的显示屏，显示画面与井下集控中心显示画面一致。安装有 1 套与井下集控中心相同的操作台，对掘进工

作面相关设备进行远程集中控制，可实现掘进设备“一键启停”智能操作。配置 1 套与井下集控中心配套的智能控制软件平台，具备 OPC 等通用数据交换接口，可将掘进工作面的数据实时传输至智能综合管控平台。



图 3 井下集控中心



图 4 井下集控中心

4. 工况环境监测与故障诊断子系统

掘锚机设备利用多种传感监测技术，在线实时监测掘、支、锚、运等工序运行工况和环境参数，利用数字孪生技术三维直观展现掘锚机运行动画与监测数据，具备异常报警、故障诊断评估等功能。在掘锚一体机上安装有矿用人员报警装置，当监测到设备工作区域有人员活动时，输出闭锁保护信号，闭锁掘进机，停止设备运行。同时，语音报警器发出语音提示语，警告人员撤离至安全位置。

二、技术特点及先进性

（一）掘进系统总体配套方式

1. 掘锚一体机：完成巷道掘进、出料及部分顶、帮锚杆、锚索的支护。
2. 液压锚杆钻车：完成滞后剩余锚杆和锚索的支护。
3. 带式输送机：与迈步式自移机尾重合搭接，保障一个圆班连续掘进。
4. 迈步式自移机尾：机尾可自移，自动延伸带式输送机。
5. 集控中心：远程控制掘进设备的启停工作。

（二）主要技术特征

1. 掘锚一体机：经过智能化升级改造，可以实现位姿监测、仿形截割、自适应截割等功能。
2. 液压锚杆钻车：配合掘进机使用，实现掘进、运输与锚杆锚索支护平行作业。
3. 带式输送机：与机尾部搭接行程长，减少拉移次数。移动方便，具有调偏功能，机身设计避免大跨距时机身的下沉。

4. 迈步式自移机尾：移动方便，可以自移，具有调偏、自动涨紧功能。

5. 集控中心：井下集控中心安装掘进机远程监控系统软件，具备界面控制、远程遥控、系统参数监测、巷道参数信息设置等功能。

三、智能化建设成效

寺家庄公司通过智能化掘进系统的建设，可以提高巷道掘进效率，由公司平均每月掘进 200 米，提升至 280 米，提高生产效率，改善作业安全环境，降低劳动强度，满足煤矿对于安全高效生产的需要，达到减人提效目标。

智能化掘进工作面由原来的单班作业人员 13 人减少至现在的 10 人：其中自移机尾的应用使得皮带输送机移动作业由 2 人减少至 1 人，掘锚一体机的应用使得掘进支护作业由 4 人减少至 3 人，掘进工作面集控系统改造，包括运输集控、局部通风机集控、自动排水控制等，作业人员由原先 5 人作业减少至 4 人巡检。

案例 14 上榆泉煤矿 5G+智能掘进工作面

主要完成单位：山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

上榆泉煤矿位于山西省河曲县城南 25 公里处之黄河东岸，行政区划隶属河曲县沙坪乡、鹿固乡、巡镇管辖。井田面积 29.8 平方公里，截止 2022 年底保有资源储量 8.96 亿吨，剩余可采储量 5.75 亿吨，矿井原核定产能 500 万吨/年，2022 年核增产能为 700 万吨/年。矿井于 2003 年开工建设，2005 年 5 月联合试运转，2006 年 10 月通过整体验收，正式投产。井田内赋存 9#~13# 五层可采煤层，现开采 10# 煤层。矿井地质条件简单，顶板为浅埋深坚硬砂岩，煤层倾角 2~8°，II 类自燃煤层，自然发火期为 3~4 个月，煤尘具有爆炸性。矿井绝对瓦斯涌出量 2.66m³/min，相对涌出量 0.19m³/t，属于低瓦斯矿井。矿井涌水量正常 119m³/小时，最大 134m³/小时，水文地质条件属于中等型。矿井采用平硐开拓方式，单水平开采，布置“一采一备两掘”，采煤工作面采用综采放顶煤工艺，长壁后退式采煤法，全部垮落法管理顶板，掘进工作面全部使用掘锚机，配套使用连运一号车和桥式转载机。

（二）建设内容

上榆泉煤矿在掘进工作面智能化建设中通过加装 5G 网络系统、远程控制系统、视频监控系统、危险区域人员接近识别报警系统、自主导航定位系统和地面井下两级集控系统，实现了掘锚

机一键启停、自动截割、远程控制、自主定向导航、工况监测、故障诊断、双向语音通话等功能，最终实现掘锚机高精度定向、位姿调整、自适应截割及掘锚掘进环境可视化，连运车智能自动化控制及远程控制，从而实现在少人、甚至无人操作下，完成高效、安全的井下掘锚作业。



图 1 智能掘进地面集控中心

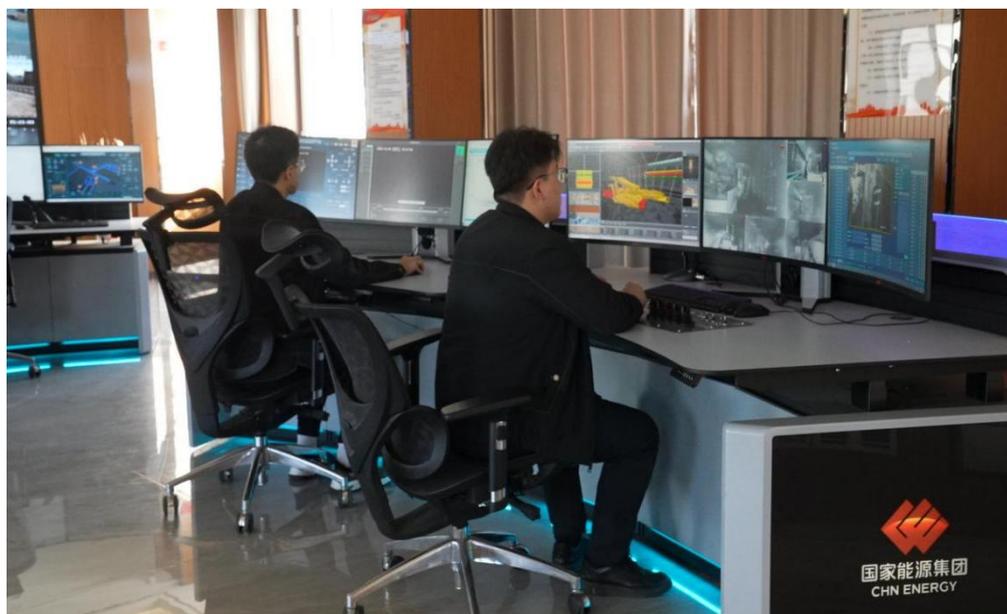


图 2 智能掘进地面集控中心



图 3 智能掘进井下集控中心

1. 5G 网络建设

上榆泉煤矿利用 5G 网络架构，围绕 5G+智慧矿山，依托“5G+”，将新型工业互联网关键技术与智能矿山相结合，重构工业网络体系，打造煤炭产业新生态，致力于 5G 技术与矿山安全生产深度融合，实现无人、少人工作面、生产装备机械远程操控、煤炭数字孪生以及 AI 智能视频分析等煤炭生产核心信息化服务。通过安装 5G 基站、无线 CPE，利用其大带宽、低时延、广连接、高可靠的特性，满足了掘进工作面智能化设备的数据传输的需求，实现了数据共享和互联互通，为各类应用系统提供了安全稳定的工作环境，为视距远程遥控控制提供了可靠支持。同时利用 5G 的无线传输技术，摆脱了目前工作面繁杂的通讯缆线，大大减少了工作面缆线维护的工作量。

2. 视频监控系统建设

通过在掘进工作面掘锚机、连运车、桥式转载机、胶带运输机机尾、机头安装 8 个高清红外摄像机，地面监控人员可以直接对井下情况进行实时监控，不仅能够直观监视和记录井下工作现

场的安全生产情况，而且能够及时发现事故苗头，防患于未然，也能为分析事故提供第一手图像资料。实现了掘进工作面摄像头无死角监控，胶带机机头实现无人值守。视频监控实时情况通过掘进工作面 5G 网络高速率、低时延的传输到地面调度室，为可视化远程操控掘锚机、连运车等设备提供了可靠保障。同时通过安装华宁语音通话系统，可在地面操作台与相应位置人员进行直连通话，实现了地面向井下进行远程指挥和信息实时共享。

3. 自主截割系统建设

上榆泉煤矿掘进工作面在掘锚机上加装激光雷达传感器、倾角传感器、位置传感器等，其主要关键技术是利用激光雷达传感器收集巷道激光基准线，从而实现横向定位，利用设定倾角参数与现场倾角传感器实际参数结合控制算法形成闭环控制，达到纵向定位的目标，同时结合现场智能视频监控装置和位置传感器实现掘锚机位姿检测和补偿，从而达到掘锚机自主截割功能。

4. 远程控制系统建设

上榆泉煤矿联合专业技术人员研制出掘进工作面智能化远程控制系统，该系统建立了地面调度室集控中心和井下工作面集控中心，系统界面实时展示掘锚机运行姿态，实时上传掘锚机、连运车等设备的运行工况参数，以 5G 网络为通道，实现了一键启停、自动截割、自主行走、掘锚机与连运车三维显示等功能，通过破解通讯协议，采用“232”控制，数据采集通过 CAN 通讯线并联在设备通讯接口，并根据设备遥控器定制操控面板，实现了井下掘锚机与连运车地面和井下两级远程控制。同时，对掘锚机上的四台顶锚钻机进行了电液控制改造，并配备相应的遥控器，实现了可远程遥控操作锚杆钻机，使得锚杆司机岗位工从根本上远离危险区域，大大提升了锚护作业的安全性。

5. 危险区域人员接近防护系统建设

通过在连运车两侧安装 AI 智能识别摄像机，监控连运车两侧盲区，视频监控画面通过井下环网传输到地面操作台显示器，通过划定黄色危险区域，当人员进入此区域时，AI 摄像机对视频信息进行智能分析，并发出报警和广播告知，当人员闯入超过 7 秒时，对连运车进行断电停机。

掘锚机区域通过 UWB 实时精准定位系统，安装读卡分站，为现场作业人员配备定位识别卡，实现人员的精准目标定位，当人员接近掘锚机设定的危险区域时，发出报警并停机。

上榆泉煤矿掘进工作面人员接近防护系统由连运车 AI 智能视频识别系统和掘锚机 UWB 实时精准定位系统组成“双保险”，具备危险区域划分、分级预警设定、多系统融合、自动停机、双向报警、视频预警、特殊人员权限管理等功能，该系统的成功运行，有效提升了掘进工作面移动设备的安全运行系数，保障了井下作业人员的人身安全。

二、技术特点及先进性

（一）利用专门研制的激光扫描仪，实现了掘锚机机体坐标和巷道坐标的对应关系，从而实现了掘锚机截割头的精确自主定位。

（二）激光扫描仪配合多参数传感器，实现了在不改变掘锚机原有机械结构的基础上，实现掘锚机的精确定位。

（三）无线远程遥控系统实现了对掘锚机液压系统和电气系统的改造，在实现手动控制的同时，也可以实现远程遥控控制。

（四）通过掘锚机截割头的精确定位，控制截割头空间精确位移轨迹，实现了任意断面形状的自动截割成形，使掘锚机自动截割出规整断面。

（五）以掘锚机电气控制设备的电流过载保护标准为依据，通过检测截割臂驱动油缸伸缩长度及其伸缩变化率、截割电机电流值及其电流变化率等多种参数，对自动截割过程中遇到的不同工况进行逻辑识别，实现了自适应控制截割臂摆速及方向。

三、智能化建设成效

（一）锚杆钻机由液压控制改为电液控制，并配备了遥控器，实现了锚杆机司机远距离遥控作业，使得锚杆机司机岗位工从根本上远离危险区域，大大提升了锚护作业的安全性，同时也显著减轻了工人的劳动强度。

（二）掘锚机和连运车均实现了井下和地面两级远程控制，掘锚机司机和连运车司机可以在地面集控中心或井下集控室远程操控作业，改善了工人的作业环境，保证了掘进工作面作业的安全程度。

（三）上榆泉煤矿掘进工作面智能化建设改造设备运行状态良好，工作面单班生产人数由 10 人减少至 7 人，目前具体岗位人数设置为：掘锚机司机 1 人，锚杆机司机 2 人，铺网工 2 人，连运车司机 1 人，皮带巡检工 1 人，总计 7 人。

案例 15 高河能源 5G 在掘锚一体机智能化远程控制的应用

主要完成单位：山西高河能源有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

高河能源是由潞安化工集团和泰国万浦集团共同出资、潞安化工集团控股的中外合作企业。矿井于 2012 年 6 月建成投产，核定年生产能力 750 万吨。

高河能源主采 3#煤层，平均煤厚 6.7 米，可采储量为 3.18 亿吨；矿井井田南北长约 13.4 公里，东西宽约 4.9 公里，井田面积 65 平方公里；采用立井开拓方式开采，低位放顶煤，埋深 480 米~560 米。煤种为低挥发分的烟煤和半无烟煤，煤质具有低灰、特低硫、中高发热量的特性，发热量 5700~5800 大卡，是优质的动力用煤、炼焦配煤和高炉喷吹用煤，被用于制定中国喷吹煤的标准煤。煤尘具有爆炸性，自燃倾向性等级为 III 类，属不易自燃煤层；矿井水文地质类型为中等，矿井属高瓦斯矿井；矿井辅助运输采用“电机车+无轨胶轮车+单轨吊”模式。

（二）建设现状

智能化掘进工作面实现了 5G 和掘进工艺的深度融合，设备主要采用“掘锚一体机+自移机尾+带式输送机集中控制”，成套设备的“一键启停”和多机协同控制，实现图像检测、状态检测、远程控制、实时姿态、自动截割、自动纠偏的功能。

（三）建设内容

1. “5G+掘锚一体机”整体架构主要包括三部分：

（1）平台层：将 5G 无线通信、音视频系统进行融合调度，对 5G 终端设备（掘锚一体机）进行远程控制，通过数字中继和掘锚一体机互联互通，实现智能操控。

（2）传输层：“5G+高速传输”及融合通信一张网，通过部署 5G 无线通信系统，实现井下通信调度及控制掘锚一体机等系统的回传和远程操控功能。

（3）终端层：5G 基站、掘锚一体机、手机 APP、井上控制、井下集控室。

2. 关键技术

（1）5G 信号全覆盖、掘锚一体机、井上控制、井下控制、手机 app。

（2）5G 信号在井下控制的稳定可靠传输。

（3）系统基于软件交换与网络融合而成，构成强大的多媒体通信平台。

3. 创新点

（1）5G 一张网融合，在掘锚一体机、井上集控中心、井下集控室安装 5G CPE、手机 APP 控制。

（2）采用双发选收方案来提升数据传输的稳定性和可靠性，通过在掘锚一体机上安装 CPE 和 5G 双发选收路由器双设备，将控制信号双路发送，地面集控室从双路信号中选择最优接收，极大提升了 5G 控制链路的可靠性，降低了抖动和时延，确保掘锚一体机稳定可靠运行。

4. 推广应用成效

通过电子围禁系统、人员安全预警、掘进机整机工况参数监

测、工作面音视频远程重现、掘进机关键部位自主检测、远程可视化控制等技术，配以现代化网络传输技术，采用“人防+技防”的手段，实现安全生产。

智能掘进工作面的建成，真正实现了“以自动控制为主，远程干预为辅”的自动化生产模式，成为数智化矿井的重要组成部分，开创了煤矿掘进开采新局面，使煤炭产业步入高效、智能、清洁、低碳的新轨道。

二、技术特点及先进性

（一）技术先进性

井下智能掘进工作面生产设备（掘锚一体机、皮带自移机尾、胶带输送机）模块化设计，整合网络接口技术，通过 5G 网络联接，辅助视频监控系统，进行远程操控，实现全网络、全视频、全服务 24 小时无间隙技术服务与支持。厂家、服务商、技术人员通过手机 app、网络终端设备及时了解掌握设备运行状态，提供网络在线技术支持，保障系统高效运行。

通过远程操控，将工作人员从工作面彻底分离开来，彻底摆脱煤粉多、噪音大、安全管控难的恶劣生产环境，实现了源头安全、动态安全、重点安全，满足和谐社会绿色企业发展需要。

实现智能掘进工作后，掘进进尺、劳动功效大幅提升的同时，出勤人数大比例下降，在满足智能矿井安全高效运行的同时，真实实现了“两升一降”。

（二）技术特点

全井上、井下 5G 网络速率要求：井下场景上下行 3:1 配置时，上行峰值速率不低于 500Mbps，下行峰值速率不低于 200Mbps；

井上场景上下行 2:8 配置时，上行峰值速率不低于 100Mbps，下行峰值速率不低于 700Mbps；系统时延：数据从终端到服务器拉网平均时延不得高于 20ms。

为满足数据传输要求，通过拉远部署基站，采取外置天线朝 2 个方向覆盖方式对基站进行安装，数据传输以掘进机→CPE(Customer Premise Equipmen, 客户前置设备)→5G 网络→MEC(Mobile Edge Computing, 移动边缘计算)服务器→CPE→掘进机控制器的方式，实现掘进机 5G 通信组网应用，并通过 5G 网络切片技术，灵活应对工作面不同网络应用场景。

（三）创新点或发明点

1. 5G 一张网融合，在掘锚一体机、井上集控中心、井下集控室安装 5GCPE、手机 APP 控制。

2. 采用双发选收方案来提升数据传输的稳定性和可靠性，通过在掘锚一体机上安装 CPE 和 5G 双发选收路由器双设备，将控制信号双路发送，地面集控室从双路信号中选择最优接收，极大提升了 5G 控制链路的可靠性，降低了抖动和时延，确保掘进机稳定可靠运行。

3. 基于物联网智能网关，实现数据的标准汇总，同时在工作面智能化监控系统显示、监测、控制为操作掘锚一体机提供一体化服务。

4. 利用 3D GIS、BIM 于虚拟现实技术，基于矿井地测数据与三维模型构建三维可视。

三、智能化建设成效

智能化掘进工作面实现了 5G 和掘进工艺的深度融合，设备

主要采用“掘锚一体机+自移机尾+带式输送机集中控制”，成套设备的“一键启停”和多机协同控制，实现图像检测、状态检测、远程控制、实时姿态、自动截割、自动纠偏的功能。

结合高河煤矿实际与 5G 技术当前在煤矿的应用实践经验，采用以“五万兆为传输网，局部场景 5G 示范应用”为核心的网络架构，实现“5G+掘锚一体机”的全面融合与应用，从而将工作面环境、设备和人员有机和谐统一起来，工作面当班人数从 16 人降到了 9 人，掘进效率提升 43.75%，进一步改进生产工艺、优化生产组织后仍有更大提升空间。

案例 16 店坪煤矿掘进机自动截割机器人系统配套滑移式支架技术研究与应用

主要完成单位：霍州煤电集团吕梁山煤电有限公司方山店坪煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西焦煤霍州煤电店坪煤矿，隶属于霍州煤电集团有限责任公司，属国有企业。位于山西省吕梁市方山县大武镇王家庄村一带，井田面积 13.5303 平方公里，批准开采 2#、3#、5#、8#、9#、10#煤层，地质储量 9035.5 万吨，可采储量 2923.5 万吨，核定生产能力 260 万吨/年，服务年限 8.0 年。

店坪煤矿为低瓦斯矿井，水文地质类型属中等。全井田设 +900m、+830m 两个水平。目前开采的 3#煤层，顶底板均为砂质泥岩；9#煤层顶板为砂岩、砂质泥岩，底板为砂质泥岩，煤层倾角为 3~11°。开拓方式采用斜井开拓。综采工作面采用走向长壁后退式采煤方法、一次采全高综合机械化采煤工艺，全部垮落法管理顶板；掘进工作面采用综掘机掘进，带式输送机运煤(岩)，无轨胶轮车完成材料、设备的运输工作，支护采用锚网索。井田内共设计三个井筒，其中主斜井 886 米担负煤炭及人员运输，副斜井 356 米担负材料运输，回风立井 105.94 米，采用中央并列式通风系统，煤炭运输采用胶带输送机运输，辅助运输采用无极绳绞车及防爆无轨胶轮车。

（二）建设内容

基于煤矿巷道掘进智能化、信息化、无人化的发展要求，为加快推进煤矿智能化快速掘进系统建设，不断提升矿井掘进效率和单进水平，在山西焦煤集团与北京易联创安科技发展有限公司联合研发的基础上，进一步达成技术协议，并在店坪煤矿引进一套掘进机自动截割机器人，同时为了实现最大限度掘支及大循环连续平行作业，店坪煤矿与辽宁天安科技有限公司合作，引进一套 ZLH2×1040/24/36 型滑移式临时支护装置与其配套作业。并于 2021 年 3 月在店坪煤矿 10-1011 掘进工作面安装投用。

通过采用先进的检测技术、数据处理技术、ARM 嵌入式编程技术及电液控制技术，使 EBZ-200 型掘进机具备定位自动截割、远程遥控、姿态调整、掘进机自动化监控等功能。远程控制台距离现场掘进机超过 200m，掘进机姿态航向角、仰俯角、翻滚角误差不超过 0.5° ，实现掘进机高精度定向、自适应截割及掘进环境可视化。同时利用滑移式临时支护一次支护距离长的优势，增大综掘机一次截割深度，最大支护长度可达到 8.3m，从而在少人、甚至无人操作下，高效、安全完成井下掘进作业，提高矿井综合单进水平，最终实现井下掘进作业智能化、无人化目标。



图 1 智能掘进机配套滑移式支架

1. 工作面基本情况

10-1011 掘进工作面位于 830 水平一采区左翼，设计全长

737m，净断面为 5.0m×3.1m。

2. 劳动组织情况

10-1011 掘进工作面由店坪煤矿综掘二队负责掘进施工，队组在册职工 48 人，下设 2 个生产班组和 1 个机电班组，采用“三八”工作制。该设备从 2021 年 3 月 9 日开始下井试用，通过店坪煤矿相关部室、队组为期 20 天的现场跟班，每天对工作面劳动组织、操作工艺、正规循环、设备维护保养四个方面存在的问题进行协调、改进，目前设备正在逐步发挥出最佳效果。通过一个月的试运行，该队组日单进水平由以前的平均 8m/天提升至 12m/天（每月作业天数按 25 日计算），掘进人效提高 2.1 米/月/人。

二、技术特点及先进性

（一）智能掘进机

EBZ-200 型掘进机具有手动本地控制、视距遥控控制、井下远程控制 and 地面远程控制四种控制方式。

系统主要包括机载子系统、遥控子系统和网络通信子系统三个部分。其中：机载子系统包括控制器、电源、传感器、网络交换机、网络摄像头等；网络通信子系统实现机载子系统和远程遥控子系统之间的网络通信，包括有线和无线网络；遥控子系统主要包括视距遥控器、矿用井下遥控平台和地面远程遥控平台，实现对掘进机的近距离及远程控制。



图 2 智能掘进机机载子系统

1. 视距遥控/远程遥控功能

EBZ-200 型掘进机自动截割具有就地控制、视距遥控控制、远程控制（井下和地面）三种控制方式。目前三种控制方式均已实现并可独立运行，其中：

就地控制：在工作面本机操作控制。

视距遥控控制：在距工作面 150m 范围内完成操作控制。

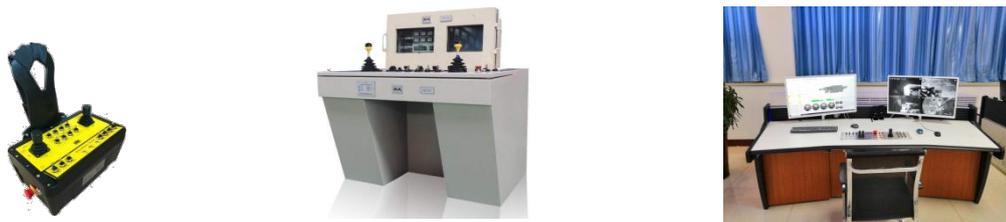
井下远程控制：在皮带机头操作硐室内安装远程控制台；通过无线基站和光纤进行信息数据传输，实现一站式远程高效控制。

地面远程控制：在矿调度室远程控制台操作控制，通过矿千兆工业环网进行信息数据传输。



图 3 智能掘进机地面远程操控图

图 4 视距遥控单元、井下远程遥控平台、地面控制台



授权人可视情况自行切换三种控制方式。视距遥控控制、远程控制安装后不影响掘进机原有控制功能，同时就地控制可根据工作面实际情况对视距遥控、远程控制进行人工干预。

2. 位姿调整

位姿调整系统基于二维 360 度激光雷达和基准位置标志牌，实时监测掘进机的位置和姿态。掘进机机身位姿参数主要包括：俯仰角、水平偏距、机身左右距。

3. 自动截割

通过采集多参数传感器数据以及位姿测量和位姿补偿的结果，通过数学建模，自动控制截割臂的回转和升降油缸，截割出符合煤矿掘进规程要求的规整断面。

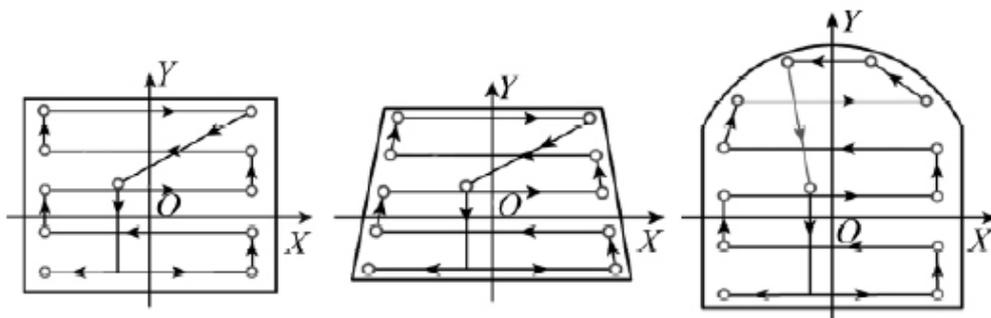


图 5 自动截割数学建模

4. 摆速自适应

通过采集截割电机负载、掘进机振动频谱和液压系统的压力等，自手动控制截割臂摆速和滚筒转速。

5. 现场可视化

掘进机机身安装6个高清网络摄像头，实时采集工作现场关键视角的视频信息，通过无线网络传输到远端监控中心。



图6 现场可视化

6. 工况监测

掘进机电控箱及相关位置安装电压、电流、温度、压力、流量等传感器，可实时监测掘进机工况参数，当数据超过限值时，发出声光报警。



图7 工况在线监测

7. 人员防护

工作面安装红外对射传感器，实现掘进面现场的人员防护。当掘进工作期间，有人员接近掘进机一定距离，设备自动报警甚至停机。

8. 环境监测

在机身安装粉尘浓度传感器，同时获取掘进机机身瓦斯断电

仪数据，从而在粉尘浓度和瓦斯浓度超限时及时报警甚至停机。

9. 一键启停

井下远程控制台和地面远程控制台具有一键自动截割启动功能。

（二）滑移式临时支护

滑移式临时支护装置采用多柱支撑、整体框架式结构，主要由横梁、顺梁、前梁等金属结构件和立柱、千斤顶等液压元件组成。特别是其独有的整体伸缩式顺梁结构，由两套顶梁对同一块顶板形成交叉支撑，通过液压系统控制实现交替掩护前移，任一组顶梁前移时另一组顶梁继续支护顶板，实现对顶板不间断支护且无大面积空顶，被支护的顶板不会出现下沉或者漏顶现象，而且可以使掘进机和作业人员完全掩护在装置下，掘进机截割后，前移支架工作完成的同时即可对刚截割完新暴露出的顶板进行临时支护，随后借助顺梁和翻转梁铺设金属网，进行永久性支护作业时，工作人员可以始终在装置下方进行操作，作业空间大且安全程度高。

1. 主要技术参数

序号	项目	数值	单位
1	架型	ZLH2×1040/24/36型滑移式临时支护装置	
2	高度	2.4~3.6	m
3	宽度	5	m
4	长度	8.8	m
5	移架步距	1.1	m
6	适应坡度	0°~10°	度
7	工作阻力	(P=28MPa)2×1040	kN
8	初撑力	(P=24MPa)2×912	kN
9	泵站压力	24	MPa
10	底板比压	平均 3.43	MPa

序号	项目	数值	单位
11	操作方式	手动	

2. 系统组成与工艺配套

滑移式临时支护装置采用多柱支撑、整体框架式结构，主要由横梁、顺梁、前梁等金属结构件和立柱、千斤顶等液压元件组成，具体工艺配套流程如下：

（1）伸 2#、4#立柱：工作面每施工 1 个循环 3m 后，打开右侧 2#、4#立柱手把，收 2#、4#立柱至距底板高 400mm，开启行走推移千斤（行走步距 1.1m），到位后开启 2#、4#立柱手把保证立柱压力不低于 10MPa，完成伸架。

（2）铺网：将滑移式临时支护前梁向下旋转至最低位置；支护工站在超前支架前梁下方两侧，将提前固定好的顶网及钢带放置于前梁上初步固定，前梁向上升起，完成铺网。

（3）伸 1#、3#立柱：打开左侧 1#、3#立柱手把，收 1#、3#立柱至距底板高 400mm，开启行走推移千斤（行走步距 1.1m），到位后开启 1#、3#立柱手把保证立柱压力不低于 10MPa，完成伸架。

（4）永久支护：滑移支架重复伸架步骤至工作面迎头后，进行永久性支护作业，一个循环结束，继续下一个循环。

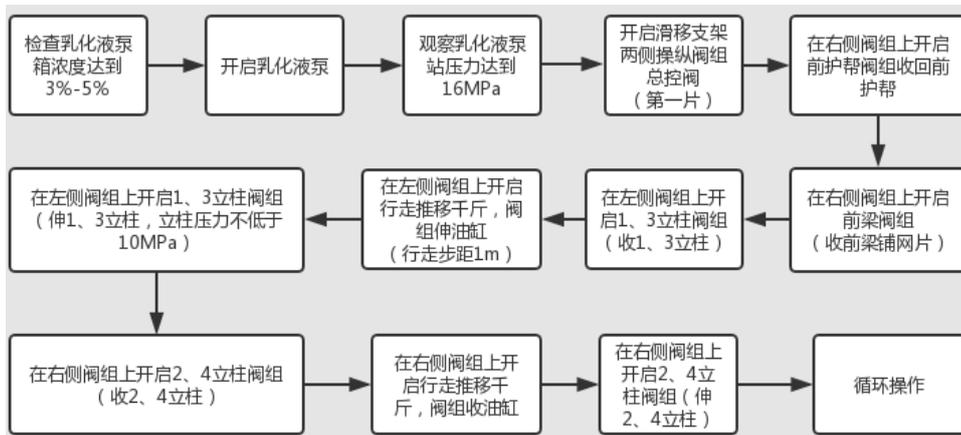
图8 智能掘进机与临时支护装置示意图



图9 临时支护铺网装置示意图

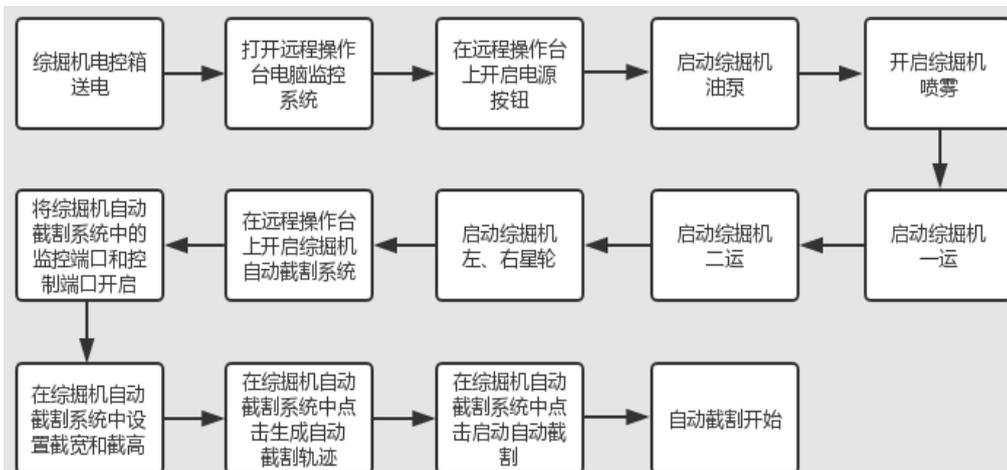
（三）主要工艺流程

1. 智能掘进机



1

2. 滑移式临时支护



（四）安全监管系统

1. 矿井安装一套 KJ70X 安全监控系统：具有模拟量、开关量、累积量采集、传输、存储、处理、显示、打印、声光报警、控制等功能。监控系统现采用了光缆环网结构，双机热备，24 小时不间断瓦斯监测监控，井下各类传感器安装标准，运行稳定，实现超限自动报警、断电及分站专供电源，按规定进行调校。目前矿井安设监控分站 26 台，其中：地面 3 台（风机房、筒仓、束管室各一台）、井下 23 台；瓦斯传感器 36 台；风速传感器 7 台；一氧化碳传感器 37 台；二氧化碳传感器 6 台；氧气传感器 13 台；开停传感器 23 台；风门传感器 22 台；风筒传感器 2 台；温度传感器 12 台；烟雾传感器 15 台；负压传感器 1 台；各类传感器的设置、调校符合规定。

2. 矿井安装一套 JSG8 型火灾束管监测系统，对煤层自燃发火进行采样监测，对井下工作面、上隅角、采空区、回风流等监测点的一氧化碳、二氧化碳、甲烷、乙烯、氧气、氮气等气体含量进行检测，每天检测一次，及时分析有关数据，发现异常及时采取措施。在井下各个皮带机头、综掘机、采煤机、胶轮车、各变电所、火药库、油脂库、泵站等硐室都按规定要求配备了灭火器等消防器材。

3. 矿井在 830 水平建成了注氮硐室，使用型号为 DTJY~800/0.8 井下注氮装置（包括缓冲车、主机制氮机、净化过滤器、空压机车）。同时矿井投入了 2 台阻化剂喷洒泵，为矿井防灭火提供了保障。

4. 矿井安装一套 KJ402 矿用水文监测系统，该系统集矿井水

文数据采集、数据处理、数据网络共享、矿井水害预警、辅助决策于一体，采用现代化的监测手段对地下水的各种参数进行监测，从而能够及时掌握水文动态，达到对水害事故的早发现、早预报、早防治。该系统由硬件系统和软件系统组成。系统的硬件部分研究内容主要有：传感器、遥测分站、传输系统（无线或有线方式）和水文监测主机等，系统可以通过传感器和遥测分站将地面或井下采集到的各种水文实时数据，使用 GSM 网或工业控制网，按照设计的通信协议，将各观测点的水文数据传输、处理并存储到水文信息数据库中。系统的软件部分研究内容主要有：水文数据的实时采集、组织与数据库建立、水文数据分析处理、数据发布以及智能预测预警功能的实现。

5. 灾害综合防治系统：双重预防机制管理信息系统，通过井下现场录入的隐患问题，能够实现系统自动分析井下各头面和各部门安全风险预警提示，并实现信息化管理。

6. 顶板灾害：矿井安装一台 KJ653 煤矿顶板动态监测系统，能够实现对矿压监测点进行实时监测，压力数据实时查询及压力分步分析并形成监测报表，能够基于监测数据实现矿山压力的预测与预警。

7. 入井人员装备：管理人员入井配备数瓦和定位，实时实地采集井下瓦斯信息，所有入井人员实现定位功能，对井下边缘死角单岗作业人员进行定位监控，超过一定时长无变动进行预警。

三、智能化建设成效

（一）生产组织方面

原先综掘工作面每小班施工 2 个循环（1 个循环 2m），智能

化掘进工作面建设及应用后，循环进度由 2m 提升至 3m，日单进水平由以前的平均 8m/天提升为 12m/天（一月作业天数按 25 日计算），掘进人效提高了 2.1 米/月/人。下阶段将继续对最大平行作业工艺工序调查研究，力争日单进水平达到 16m/天，月单进水平达到 400m/月。

（二）减人增效方面

原先掘进工作面割煤期间需配备正、副 2 名综掘机司机，支设临时支护期间需配备 3 名职工。智能化掘进工作面建设及应用后，割煤期间只需配 1 名司机通过显示屏进行操作割煤，支设临时支护时只需 2 名职工操作手把就可前移临时支护。

（三）安全效益方面

原先综掘工作面割煤期间主司机坐在综掘机座位上操作，副司机站在综掘机上指挥，存在很大的安全隐患。智能化掘进工作面建设及应用后，割煤期间主司机可离开工作面通过显示屏进行远程操作台或遥控器操作，割煤期间工作面无人化管理，杜绝了人的不安全因素。

（四）推广应用前景

通过煤巷综掘工作面掘进智能机器人配套 ZLH2 × 1040/24/36 型滑移式临时支护装置作业，实现掘进机高精度定向、自适应截割及掘进环境可视化，从而在少人、甚至无人操作下，完成高效、安全的井下掘进作业，提高了矿井综合单进水平，降低了工人的劳动强度，改善了工人的工作环境，为综掘工作面安全、高效、快速掘进提供了保证，也有力地促进了综掘机械化装备水平的提高，为同等条件下其他矿井推广应用提供了宝贵的

经验和应用价值。

案例 17 鑫岩煤矿智能快速掘进系统

主要完成单位：吕梁东义集团煤气化有限公司鑫岩煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

吕梁东义集团煤气化有限公司鑫岩煤矿主体企业为吕梁东义集团煤气化有限公司，由铁法煤业（集团）有限责任公司和山西孝义东义煤电铝集团有限公司共同出资组成，企业性质为国有控股，其中铁法煤业集团有限责任公司持股 60%，山西东义煤电铝集团有限公司持股 40%。井田面积 19.601km²，煤炭资源储量为 20920 万吨，剩余可采储量 16099 万吨。煤种以中灰、低至高硫分、高热值的焦煤为主。矿井核定生产能力 240 万吨/年，属于高瓦斯矿井，各煤层属于自然、容易自然煤层，煤尘均具有爆炸危险性，水文地质条件中等，开拓方式为主斜副立。现采 5 号煤和 10 号煤，5 号煤可采厚度为 0.70~1.61m，平均 1.04m，顶板岩性多为泥岩，偶见炭质泥岩伪顶，底板多为泥岩、砂质泥岩；10 号煤可采厚度为 3.20~5.40m，平均 4.56m，顶板为泥岩、砂质泥岩，底板多为泥岩。采煤工艺为综合机械化采煤，掘进为综合机械化掘进，采掘比为 2:6。

（二）建设内容

“快速掘进系统”是用于煤巷快速掘进的成套装备。系统采用掘支运三位一体的快速掘进模式，可实现掘进、支护、运输平行连续作业，为矿井提供煤巷掘进、支护、运输、通风、除尘、供电、给排水、控制通讯的成套解决方案。

快速掘进成套装备智能控制系统是应用于以掘锚机为截割龙头，以运锚机辅助运输锚护，以可弯曲皮带和迈步式自移机尾接续运输的掘支运一体化成套设备的新一代控制系统。该套智能控制系统是成套采掘设备智能化控制的典型示范与应用，包含单机智能功能拓展与系统智能功能集成。

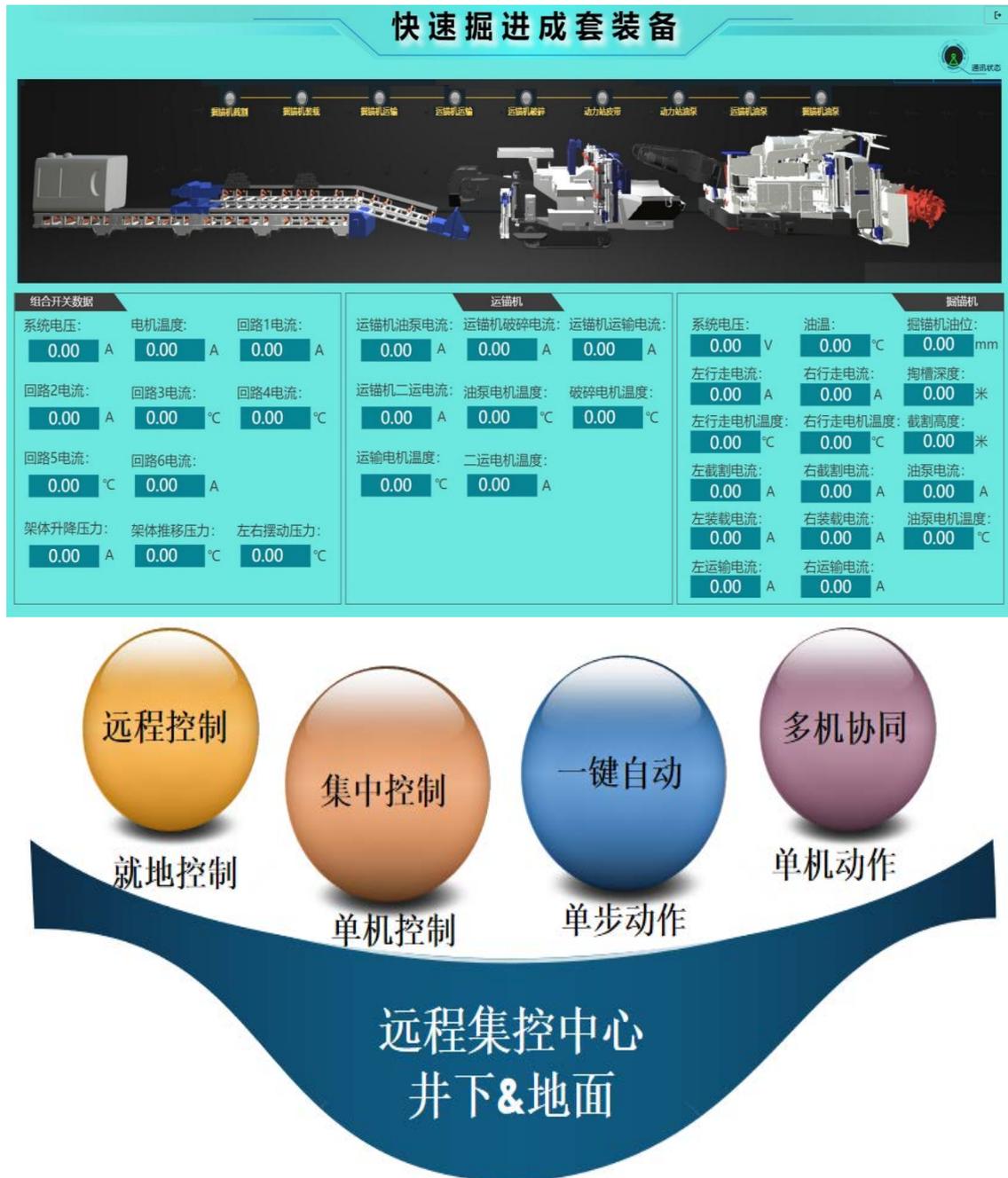


图 1 快速掘进成套装备及控制系统主要组成

系统以远程集控中心为载体以高速无线通讯网络为通道，旨在实现快速掘进成套装备操作的集中远程化和无人少人化，创建“无人跟机作业，有人安全值守”的掘进新模式。

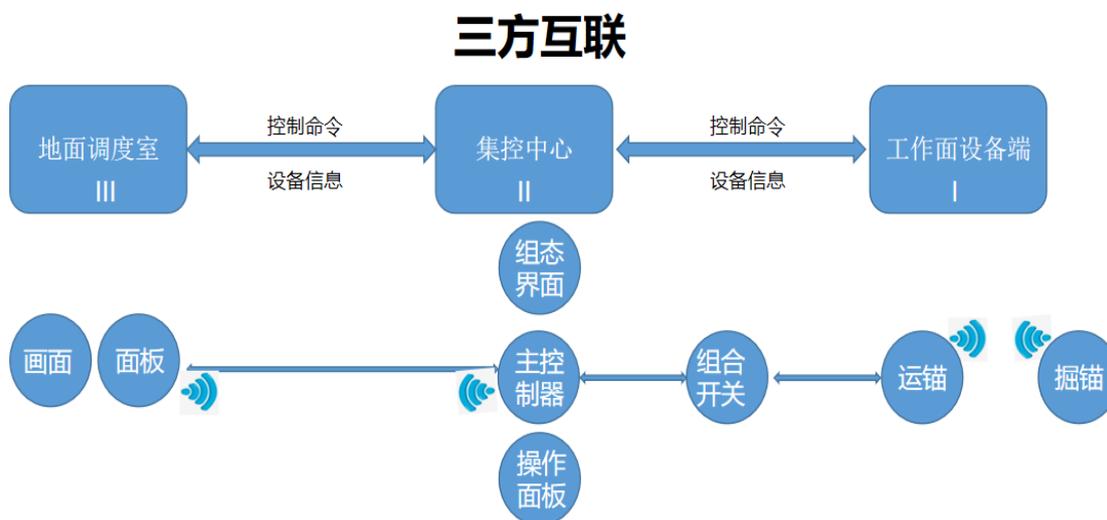


图 2 系统主要控制单元

系统各部分功能

1. 掘锚一体机

掘锚一体机具备自动截割、自主行走、惯导位姿检测、锚护电液控制、数字化锚护、三维动态显示等功能，自主完成简单常见行走轨迹，可以根据实时视频与数据远程辅助干预，惯导可以长航时工况下角分级航向姿态精度，厘米级定位精度；数字化锚护可以实现锚护数量锚护位置实时统计，锚护故障率统计，锚护数量与位置预分配，整机位置，姿态三维动画显示。

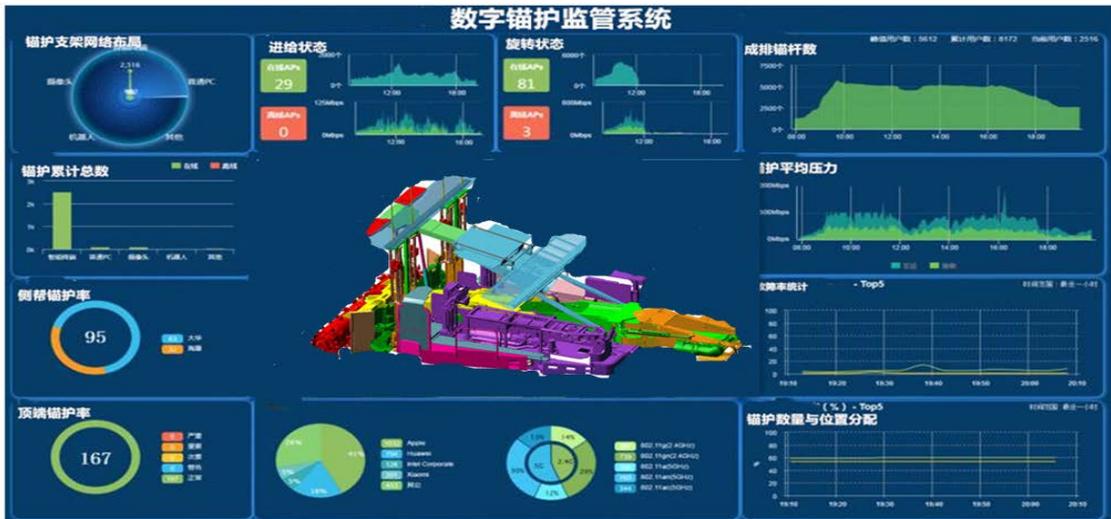


图 3 智能化系统界面

2. 运锚机

运锚机集转载、破碎、锚杆支护功能于一体，可实现快速掘进工作面掘进、运输及锚杆支护平行作业，支护效率高。具备跟随着行走，速度距离可控，自动钻架，自动接杆拆杆等功能。

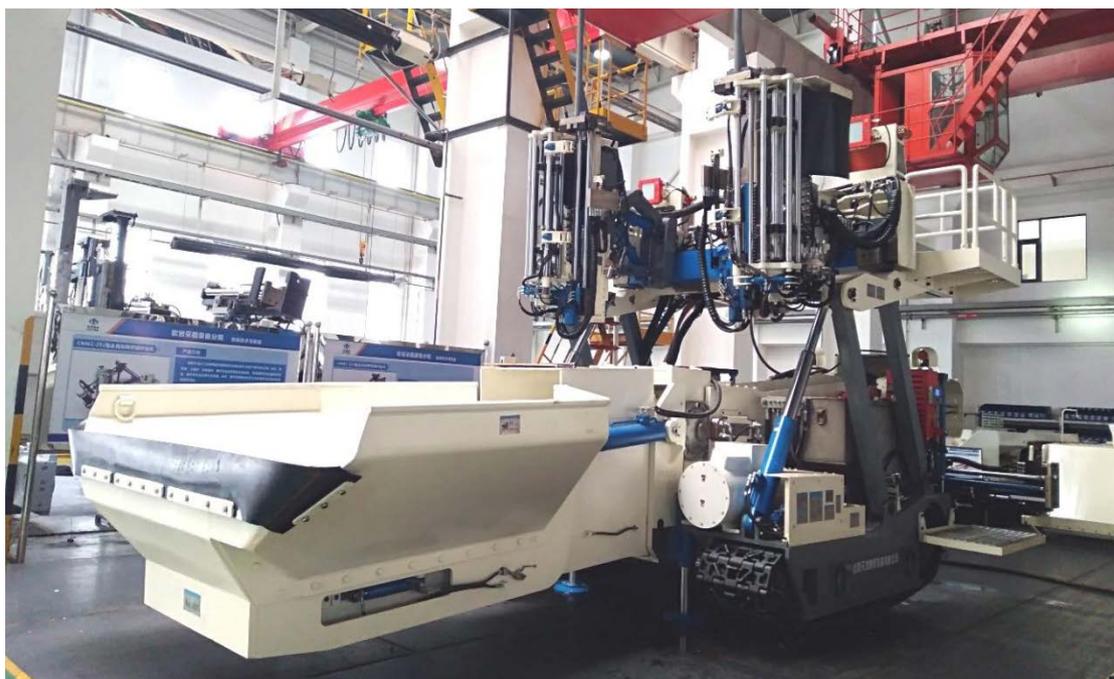


图 4 运锚机

3. 运输系统

可弯曲皮带和迈步式自移机尾能够实现多部带式输送机集中控制，具备机械化调偏功能，能够在设备前移时调整设备推移方向。

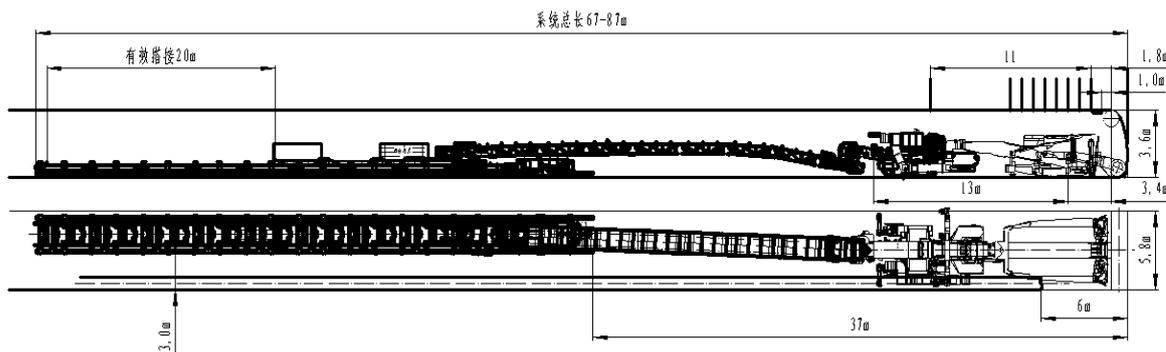


图5 运输系统配套示意

4. 集控中心

建有井下掘进系统集成中心和地面集控中心，实现远程控制、一键启停、视频监控等功能。具备巷道随掘成形质量、巷道变形动态监测功能，建立设备与巷道位置数学模型，得出俯仰、横滚、航向角及在中线的偏移量，能够与数字化监控平台实现数据通讯。



图6 井下集控中心

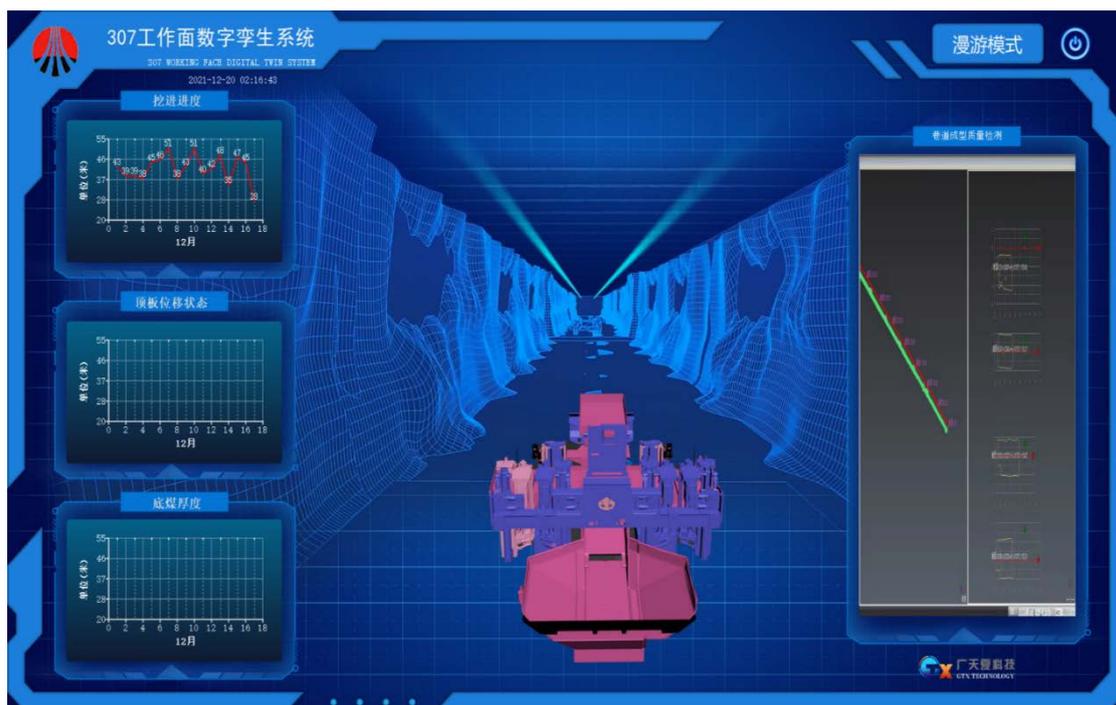


图 7 数字孪生界面

二、技术特点及先进性

（一）创新研发出高效自动化支护装置

锚杆自动化支护装置。通常情况下，支护占巷道成巷时间 60% 以上，是影响巷道掘进速度的主要因素，且高度依赖人工。为满足快速掘进工作面支护速度要求，创新研制出锚杆自动化支护装置，采用机械抓手灵活切换锚杆和钻杆，钻机自动施工，单根锚杆作业时间由原来 5~6min 缩短至 3.5min 以内，一排锚杆施工时间仅需 8~10min。

锚索支护实现半自动化。针对目前锚索主要依靠人工手动施工的难题，研制出锚索输送装置，将钻机自动钻孔与锚索自动输送、自动安装结合，实现锚索支护半自动化，大幅提高了支护施工速度，减少了支护施工用人数量。

（二）研发出全断面自适应精准截割系统

针对掘锚机截割煤层的硬度及厚度变化，通过掏槽油缸位移传感器和大臂倾角传感器实时监测截割位置，建立横竖坐标系，以控制器内置程序完成工序自规划，实现截割头的升刀、进刀、下割、拉底等步骤调整；同时，实时检测截割过程的输出电压、电流参数，控制器自主判断当前煤岩情况并及时匹配最佳的进刀速度和进刀量，实现自动移臂自适应截割，达到截割效率最大化。

（三）研发出基于多数据融合的精准确定向定位系统

研发出由“全站仪+惯导+里程计+测距雷达”组成的多传感器融合的定位导向系统，在掘进过程中获取设备在巷道内的位置和姿态，实时显示掘锚一体机的航向角、俯仰角、滚动角、速度等数据信息，并在行走过程中不断根据传感器的监测数据调整行走方向和行走距离，实现了掘锚一体机位置的连续测量与自主纠偏，精度达到厘米级。

（四）研发出全国首套不停机延伸超长距离连续运输系统

创新研制出基于自移机尾、自动变频张紧装置、带式输送机架自动延伸装置、储带仓的超长距离连续运输系统，首次实现了一部带式输送机满足 6000m 巷道掘进运输要求，大幅度减少了用电成本，提高了连续运输的协调性；研制了 300m 超大容量储带仓，可满足 150m 连续掘进作业；研制的自移式机尾、自动张紧装置、带式输送机架自动安装装置相结合，加带不占生产时间，停机次数减少 2/3，真正实现了 6000m 带式输送机不停机自动延伸。

三、智能化建设成效

（一）安全效果

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、远程操作台等设备实现掘进智能化工艺。工作面作业人数减少至7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油缸，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的伤害；侧翼安装自动报警系统，设备运行期间人员靠近该装置，会自动报警，保证了人员安全；截割大臂前配备了自动超前钻探，解决了水患的威胁。

（二）经济效果

1. 直接经济效益。增加煤炭产销量：巷道掘进速度由传统施工工艺的月均进尺300m提升至600m以上，每月增加掘进生产煤量近10000t。节约人员成本：优化施工组织后，生产作业人数由10人减至7人，极大地降低了掘进人工成本。

2. 间接经济效益。快速掘进技术的应用将传统成巷周期由6个月缩短到3个月，采煤工作面巷道形成周期缩短了50%，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。

案例 18 王家岭矿小空顶距大断面智能掘进工作面建设

主要完成单位：中煤华晋集团有限公司王家岭矿

一、主要建设内容

掘进工作面相比综采工作面，机械化、自动化水平相对较低。特别是在大断面巷道采用悬臂式掘进机+锚杆钻车的配套方式，存在掘进不连续、多次掘进成巷，锚护工作劳动强度大、锚护工艺占用时间长、占用人员多，生产效率低等问题。同时，掘进工作面设备多，系统分散，在生产运输、通风、供电、排水、探水等方面缺乏集中控制与监测。本案例以王家岭矿 12307 胶带巷大断面小控顶距的矩形巷道，采用锚网联合支护，巷道沿煤层底板掘进。以“掘”、“支”环节智能化为研究中心，实现工作面掘、锚、运等主要工序及通风、除尘、供电等辅助工序智能化运行等功能，构建“以工作面自动控制为主，集控中心远程干预为辅”的自动化掘进模式，达到掘进工作面少人化、无人化的目标。主要建设内容如下所示：

（一）智能掘进系统

首次成功研发惯性系统+激光标靶+工业相机的掘进机绝对位置定姿系统，并将掘进机改造为全国第一台变频掘进机，结合记忆截割功能，实现掘进机自动截割与自适应截割。智能掘进机具备工况参数、视频画面远程在线监测及视距遥控、人员接近预警、远程可视截割等控制功能。



图 1 变频掘进机





图2 组合式定位系统

（二）智能锚固系统

首次成功研发多传感器+机器视觉的锚杆钻车自动定位系统，人工辅助下实现第一根锚杆的自动支护，锚杆钻车自动完成两排其余锚杆的支护工作。全自动锚杆钻车具备自动铺顶网、自动定位锚护位置、自动喷射药卷、自动连续打锚杆、自动注入锚索、自主检测锚固质量功能。



图3 全自动锚杆钻车

（三）智能探放水系统

优化全自动探水钻车结构减少断面宽度，提高探水钻车的灵活性与探水效率。全自动探水钻车具有自动上下钻杆、无线遥控

操作、一键全自动钻孔、数据自动记录、智能防卡钻功能。



图 4 全自动探水钻机

（四）智能除尘系统

基于粉尘浓度、瓦斯浓度建立掘进机、局部通风机和除尘风机的耦合关系，实现掘进工作面高效除尘。智能变频局部通风机具备运行噪声低、实时感知的环境参数、自动控制变频器的运行频率、能调节工作面新鲜风流风量的功能。智能除尘系统具备除尘风机与加压泵、喷雾阀门的远程一键启停和基于粉尘、甲烷浓度变化的智能控制除尘风量功能。

（五）多机协同控制及远程集中控制系统

开发基于 C/S 架构的智能掘进管控平台和操作面板，实现智能设备 5G 通讯、在线监测预警和所有单机设备的远程停送电、远程操控功能。井下、地面软件平台和操作面板实现对掘进机、除尘风机、运输设备全流程一键启停协同控制功能。



图5 地面集中控制系统



图6 智能掘进管控平台

（六）安全连锁保障系统

利用 AI 视频识别系统，实现区域限员、卸载点堆煤、煤量扫描、皮带跑偏智能识别，并与生产系统联动，为安全生产提供保障。



图 7 AI 识别系统

（七）带式输送机控制系统

安装卷带装置，实现遥控卷带，降低卷带过程的劳动强度。
安装自动清扫装置，实现带式输送机的自动清扫。

二、技术特点及先进性

本案例突破了“掘”、“支”智能化难题，以惯性系统+激光标靶+工业相机的掘进机绝对位置定姿技术和多传感器+机器视觉锚杆钻车相对位置定姿技术为抓手，突破掘进工作面智能除尘、5G控制和集中远程控制技术，实现工作面掘、锚、运等主要工序及通风、除尘、供电等辅助工序智能化运行。适用于大断面小控顶距掘进工作面。在各项技术均达到了领先水平，主要创新点如下所示：

（一）创新点 1：研发了智能掘进工作面掘进机惯性导航和机器视觉定位系统，采用机器视觉定位+军用光纤惯导+扇形激光束组合式定位技术，提出了狭长巷道掘进机厘米级高精度定位和导航技术，实现了大断面巷道掘进机精准定位导航与两次自主移机。

（二）创新点 2：研发了智能掘进工作面掘进机智能控制系统，采用多传感器融合技术，实时感知掘进机工况、截割负载、悬臂俯仰角及航向角等数据，结合掘进机牵引调速控制算法，实现了截割牵引速度与截割电流合理匹配及掘进机贯入度、截割头转速和截割臂摆动状态的自动调整，实现了掘进机自适应截割。

（三）创新点 3：攻克了锚护全工序智能控制关键技术，研制了国内外首台集自动铺顶网、自动定位锚护位置、自动喷射药卷、自动连续打锚杆、自动注入锚索、自主检验锚固质量等功能于一体的全自动锚杆锚索钻车，实现了锚护工序全流程自动化作业，减少了锚护工序的作业时间和辅助作业人员，大大降低了工人劳动强度。

（四）创新点 4：研发了“风尘联动”高效智能除尘装备和系统，采用多传感器融合技术全时空实时感知局部通风机和除尘风机的工况及巷道全断面粉尘浓度、风量等环境参数，结合智能除尘系统控制策略，实现了除尘控尘装备与局部通风机联动控制，基于局部通风机与除尘风机的协同控制理论与技术，动态调节掘进风机与除尘风机的转速，实现了掘进供风量、除尘风机风量与粉尘浓度的智能最佳匹配，形成了高效智

能通风除尘技术，总粉尘除尘效率高达98%以上，有效改善了掘进工作面的作业环境，保障了工人职业健康。

（五）创新点5：基于多机协同控制理论和智能掘进工作面施工工艺，深度融合数字孪生、物联网、5G通信、大数据分析、人工智能等技术，开发了掘进工作面成套装备系统的智能管控一体化平台。配套AI视频智能识别系统，实现了“人、机、环、管”多要素、多系统数据的智能管控，真实再现掘进工作面实时场景，开创了“可视化远程干预”自动化掘进模式。通过作业装备远程操控和协同控制技术，构建了掘-支-运-辅“四位一体”的协调、连续、高效作业智能掘进技术体系，实现了符合生产工艺全流程的“掘-支-运-辅”配套装备的智能联动。

三、智能化建设成效

（一）安全效益

智能掘进工作面远程集控平台与操控系统将之前在掘进工作面作业的人员从迎头回撤到井下集控中心甚至地面操作台进行远程操控，降低掘进、支护过程中人员作业的危险程度，极大的提高了安全系数。

（二）经济效益

智能掘进工作面实现运输系统一键启停、设备集中控制等功能，可减少掘进工作面每班的人员数量；掘进机的自适应截割，在提升掘进效率的基础上，减少截割截齿的消耗与截割电机发生故障的概率；除尘风机变频吸风功能、局部通风机的变频供风功能，在保证工作面正常供风与除尘效果的同时，能极

大限度的减少不必要电力消耗，从而减少掘进成本。

案例 19 高阳煤矿四采回风巷智能化掘进工作面建设

主要完成单位：山西汾西矿业（集团）有限责任公司高阳煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西焦煤汾西矿业高阳煤矿，隶属汾西矿业（集团）有限责任公司。位于孝义市城西 14km 的高阳镇。井田面积 53.2851km²。矿井核定生产能力 450 万吨/年。现开采太原组 9+10+11 号煤合并层。

高阳煤矿属低瓦斯矿井，无冲击地压。瓦斯相对涌出量为 0.44m³/t，绝对涌出量为 3.85m³/min；二氧化碳相对涌出量为 0.34m³/t，绝对涌出量为 2.95m³/min。煤层自燃倾向性等级均为 II 类，属于自燃煤层，最短自然发火期为 83 天。

矿井采用综合开拓方式，其中进风井 6 个，回风井 3 个，分别为主斜井、副斜井、进风行人斜井、副立井、进风立井、角盘进风斜井、北回风立井、东回风斜井、角盘回风斜井。

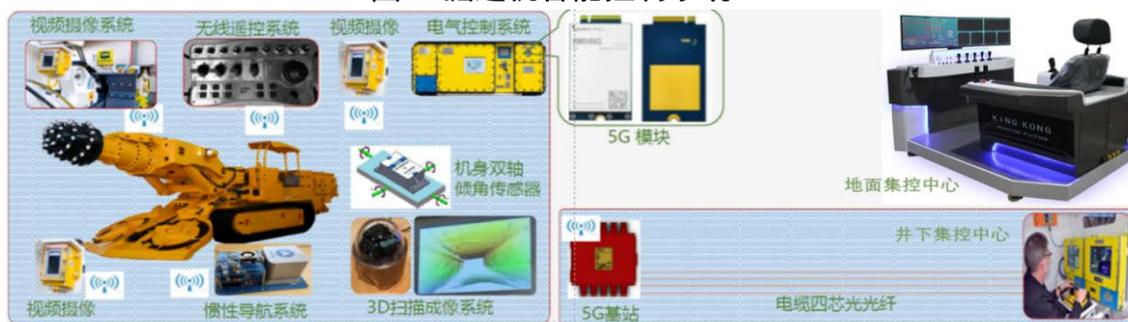
（二）建设内容

四采回风巷利用 EBZ-260A 型掘进机进行智能化控制系统改造，实现掘进机自动截割、智能化控制等功能；使用 CMM2-15 型锚杆钻车进行锚杆作业，实现了锚杆作业机械化；配套 DSJ80/40/90 型可伸缩带式输送机以及 DWZY800/1000 型皮带自移机尾实现物料转运，并接入智能化控制系统，实现设备的远程控制及工况监测，实现了皮带机自移，减少了单班作业时间；供配电使用 QJZ-2000/1140-6 组合开关以及 KBSGZY-1000/1140 移

动变电站，接入智能化控制系统实现电力监控，实现了远程一键启停；配套 KCS-450D 除尘风机进行工作面降尘，改善了工作面作业环境；使用 WRB-80/31.5 乳化液泵（两泵一箱）进行远距离供液，并对供液系统进行智能化改造，为皮带自移机尾提供动力，实现智能供液。建立工作面集控中心和地面集控中心，实现对智能掘进设备实时远程监测与控制，实时监测各传感器数据和显示掘进机各个执行机构的状态，实现掘进设备姿态自动调整；实现掘进设备工况在线监测、故障诊断和报警功能；实现掘进工作面环境（粉尘、瓦斯、一氧化碳等）智能监测与智能分析决策功能；安装视频监控系统实现掘进工作面高清视频显示，实时上传到工作面集控中心和地面智能集控中心；实现危险区域人员接近识别与报警功能。

掘进机智能控制系统由三层构成，第一层为设备层，主要包括掘进机、摄像机、惯导单元、电流传感器等检测传感器设备组成。第二层为传输层，主要由控制回路的 CAN 总线、传感器检测数据到控制器的以太网总线、掘进机到 5G 基站的 5G 通信、5G 基站到井下集控中心和地面集控中心采用光纤方式。第三层为控制层，包括就地控制、视距遥控、井下集控、地面集控四种控制方式。

图 1 掘进机智能控制系统



1. 工作面基本情况

四采回风开拓工作面位于 830 水平一采区左翼，设计全长 1690m，巷道断面为直墙半圆拱形，掘宽 5.5m，高度 4.35m，墙高 1.6m，净断面 18.9 m²，采用锚杆、锚索、架设 U 型钢拱进行支护。

2. 生产组织情况

（1）巷道掘进作业

巷道掘进采用 EBZ-260A 型智能化综掘机配 ZLH2X1040-26-40 型滑移支架。锚杆锚索支护作业。巷道顶板锚杆锚索支护采用 CMM2-15 型双臂锚杆钻车。截割后锚杆钻车错车进入工作面，支护全部顶锚和部分锚索、帮锚，之后锚杆钻车退出滑移支架外侧。继续截割时，剩余锚杆和锚索由锚杆钻车施工，截割和支护平行作业。其中顶板锚杆施工时由锚杆钻车双臂同时作业。探放水作业。根据探放水允许掘进距离完成巷道掘进及锚杆锚索支护，将掘进机退出工作面 5m 之外，在掘进迎头部位让出钻场空间，使用气动架柱式钻机进行探放水作业。

（2）支护排布

巷道断面 5.5m×3.6m，顶板锚杆每排 6 根，排距 1000mm，间距 1000mm，侧帮锚杆每排 4 根，排距 1000mm，间距 900mm，其中侧帮最上一根锚杆距顶板 450mm，最下部一根锚杆距底板 450mm。顶板锚索每排 2 根，间距 2000mm，排距 3000mm。根据设备布置及顶板锚杆锚索支护布置要求，顶板支护时，顶板、侧帮锚杆、锚索支护排布如下图（顶板不支护时不需要施工顶锚杆）。

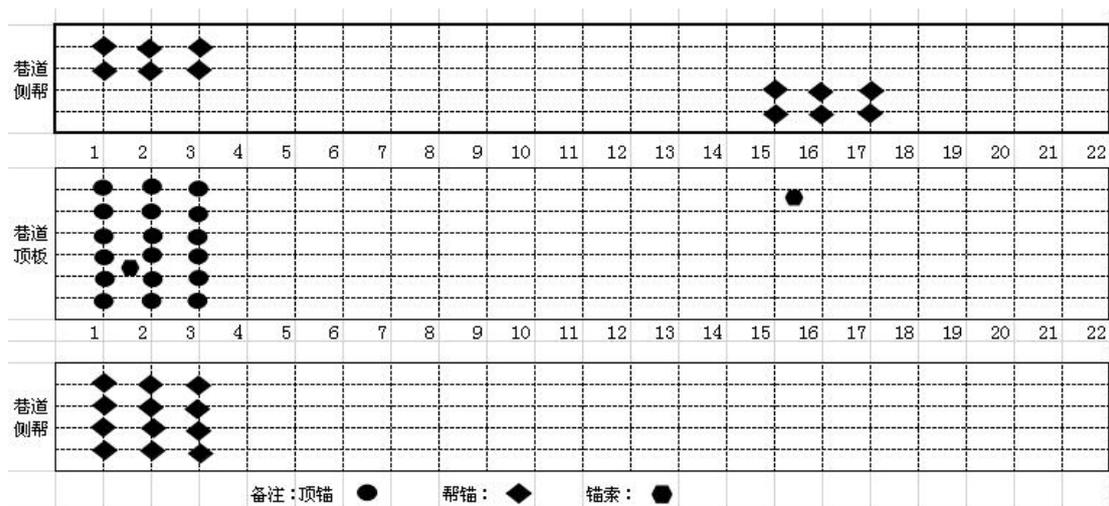


图 2 工作面支护排布图

掘进作业单次循环：

每截割 1m 移动滑移支架一次，每截割 3m 为一次正规循环，每一次正规循环包括掘进机截割、扫底出矸，钻车锚车进入工作面完成迎头顶板 18 根锚杆（顶板不支护时需不要施工顶锚杆）、左帮 12 根锚杆支护、右帮 6 根帮锚及顶板一根锚索的支护。之后锚杆钻车退出滑移支架外侧，继续截割时，由锚杆钻车施工剩余锚杆和锚索，截割和支护平行作业。

顶板支护时每完成一个正规循环时间约 215 分钟，顶板不支护时每完成一个正规循环约 155 分钟。

顶板支护时采用“三八”制作业：零点班、八点班正常生产，四点班进行安全巡检、检修、拉移机尾。每班为 2 个循环，每日 4 个循环，月进度= $4 \times 3 \times 30 \times 90\% \approx 324\text{m}$ 。

顶板不支护时采用“四六”制作业，零点班、六点班、十二点班正常生产，十八点班进行安全巡检、检修、拉移机尾。每班为 2 个循环，每日 6 个循环，月进度= $6 \times 3 \times 30 \times 90\% \approx 486\text{m}$ 。

顶板支护时单次作业循环时间：

工序	时间	1-75					76-85	86-100	101-110	111-205	206-215
截割、扫底出货	20	75									
移动支架	5	(3									
备料	60	排)									
支护上一循环剩余锚杆、锚索	22										
调整V钢带、补联网	10										
退综掘机	15										
进锚杆钻车及支护准备工作	10										
支护本循环锚杆、锚索	95										
出锚杆钻车及整理工器具	10										

图 3 循环作业图（1）

顶板不支护时单次作业循环时间：

工序	时间	1-60					61-75	76-85	86-145	146-155
截割、扫底出货	20	60								
移动支架	5	(3								
上V钢带、顶板补联网	40	排)								
备料	40									
支护上一循环剩余锚杆、锚索	22									
退综掘机	15									
进锚杆钻车及支护准备工作	10									
支护本循环锚杆、锚索	60									
出锚杆钻车及整理工器具	10									

图 4 循环作业图（2）

二、建设特征及先进性

（一）智能化系统建设

1. 视距无线遥控系统

视距遥控系统由工人背负遥控器对掘进机进行视距范围内的无线操作，它的遥控指令通过点对点的无线信号发送给接收器，通过 CAN 总线与机载 PLC 通信实现控制指令的传达。通信传输距离可达 80 米。同时，遥控具备故障诊断功能，设备发生故障时自动发出提示。

2. 智能化掘进工况检测监控系统

掘进机工况检测监控系统可以对掘进机各个主要的驱动回

路进行电流、电压、相序等进行检测，防止过流及过载、过压、欠压、漏电、电机反转等；实时检测电机绕组温度，各个执行油缸、液压马达等关键部位进行液压压力、油位、油温，冷却水流量及压力进行检测，超过设定值时实现报警停机；当瓦斯浓度超标时，对系统进行预警或断开电源处理，实现闭锁。可以对系统外部环境监测及外部传感器信号（瓦斯/粉尘/一氧化碳浓度等）进行采集。掘进机工况数据通过 5G 通讯方式上传地面集控数据服务器。

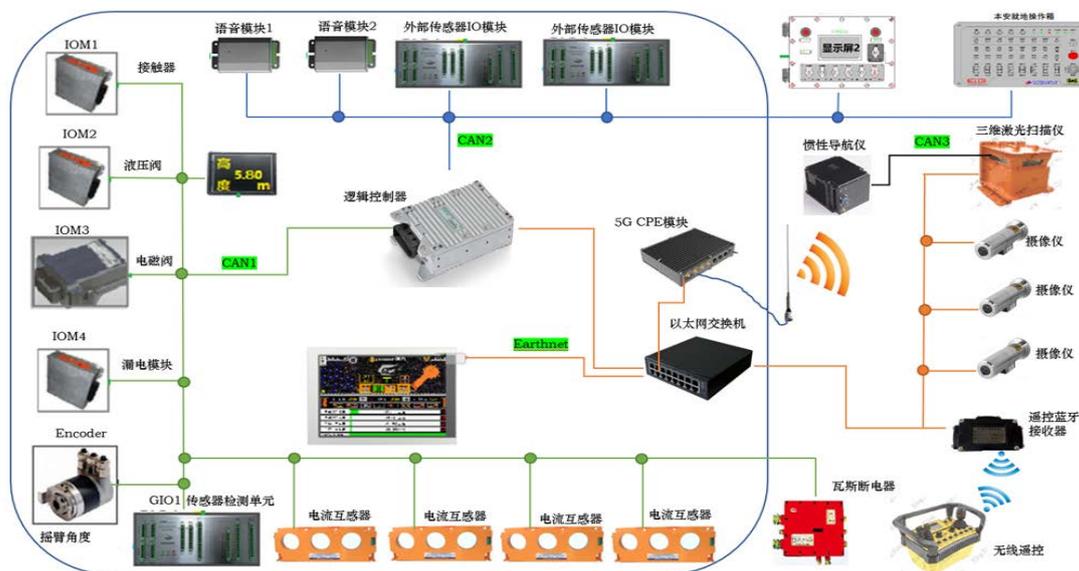


图 5 智能化掘进工况检测监控系统

3. 掘进机智能化控制系统

电控系统作为整个智能掘进的执行控制系统，实现了电气系统主流的“智能化、总线化、模块化”的设计理念。

应用全自动激光全站仪与惯导技术实现掘进机三维位姿展示和掘进机规划路径截割，惯性导航定向定位系统结合惯导实时方位角度数据、全站仪三维坐标实时数据、姿态传感器等数据，通过定向定位算法得出掘进机的姿态和位置数据，实现掘进机的定向定位功能，并在显示窗口中进行显示。通过机身四周的 4 个

热释红外传感器实现人员接近预警误入停机功能；通过机身四周的 4 个激光测距传感器实时显示综掘机左右离帮距离，并控制靠帮预警和停机功能；综掘机截割头开始运行后除尘风机自动启动，截割头停止后除尘风机继续运行一段时间后停机。

4. 视频监控系统

监控系统分别将 4 台高清摄像机、2 台红外摄像机安装在掘进机机身前部左前、右前、左后、右后的位置上。在皮带输送机和集控中心分别安装 2 台云台摄像机。摄像机通过机载隔爆控制器供电，视频数据通过以太网线接入系统交换机，再经 5G 网络将视频数据传送至井下集控中心和地面集控中心的视频显示器。远程操作人员或管理人员结合其他系统数据及视频监控画面，来判断系统运行状态，及时投入人为干预，防止系统偏差或事故。

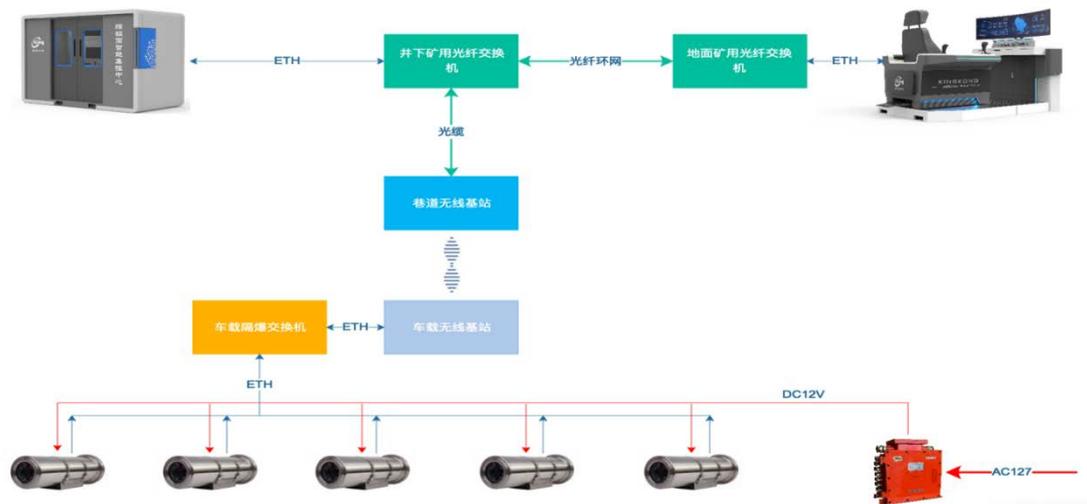


图 6 视频监控系统

5. 5G 网络通信系统

5G 无线网络通信系统主要由地面和井下设备构成。其中地面设备主要有 5G 核心网、基带处理单元（BBU）。井下设备主要有矿用隔爆型远端汇聚站、矿用隔爆兼本安型无线基站、矿用本

安型信号转换器等。井下采用 5G 基站实现井下网络覆盖，基站通过矿用远端汇聚站 RHub 进行汇聚后，与井上 BBU 相连。

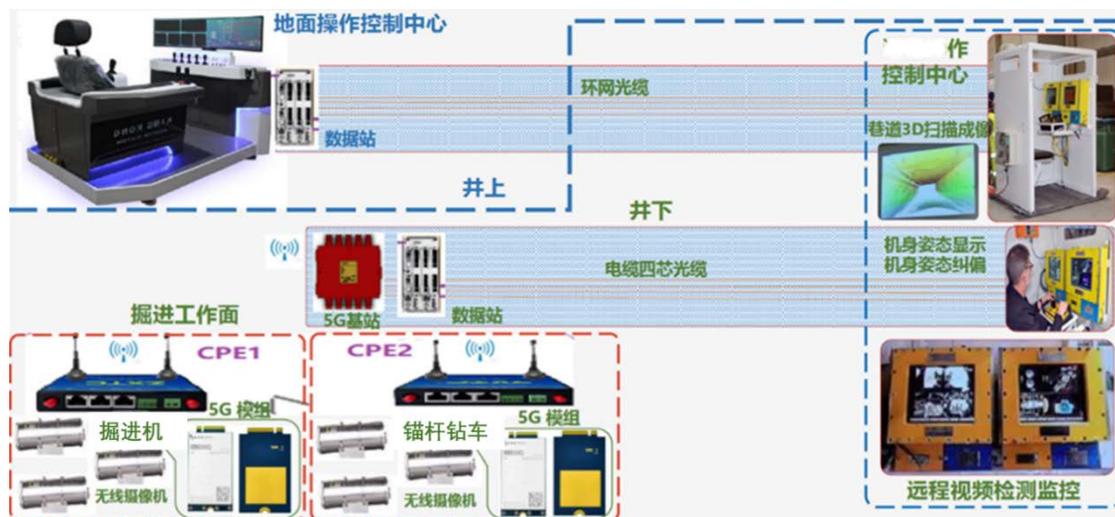


图 7 5G 网络通信系统

6. 井下集控中心

在工作面自移机尾上安装一套井下集控中心，是智能化综掘工作面的核心装备，其集成了各分系统的综合集中控制功能，各参数的收集以及分析处理功能，完成对各设备的监控、控制以及故障诊断。其主要包括：集控箱体、视频主机、数据处理主机、综合接入器、监控显示器、设备操作台等。井下集控中心是整个智能综掘的核心及主要的人机交互界面，实现对综掘各子系统的集中监测和控制。



图 8 井下集控中心

7. 地面集控中心

地面集控中心采用 220V 交流供电，地面集控中心与井下集控中心的功能相同，但是具备了数据存储、数据分析等功能，通过 5G 加光纤将井下集控中心的数据传输到地面集控中心，集成了各分系统的综合集中控制功能，各参数的收集以及分析处理功能。



图9 地面集控中心

（二）带式输送机用自移机尾

使用带式输送机用自移机尾，皮带转载机通过搭接小车与此设备搭接，搭接行程长，有效减少机尾移动次数，降低工人劳动强度，同时大大提高掘进作业的安全性，实现巷道高效快速掘进和安全高效生产以及低成本运行。带式输送机用自移机尾主要由动力架、机尾架、中间架、防护罩、附件（油缸销轴等）、电控系统、液压系统等部分组成。本机自带电气与液压系统，依靠自身动力，实现机尾的抬升、推移与调偏。

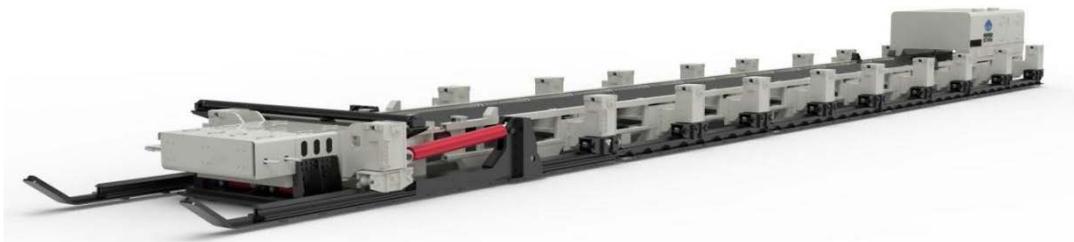
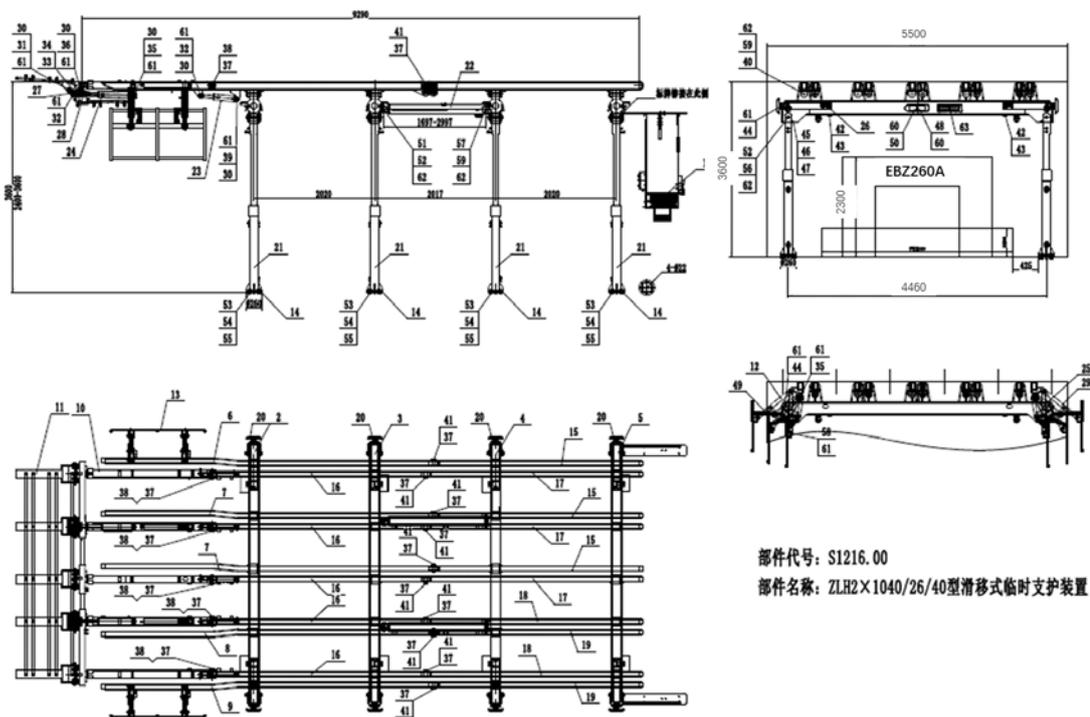


图 10 带式输送机用自移机尾

（三）采用滑移支架进行临时支护

滑移支架采用组合顶梁、交替滑移行走的结构形式，用于配合掘进机在巷道掘进迎头进行临时支护，并跟随掘进机自移行走；前端设有组合挑梁和卷网（尼龙网）装置，在前行过程中可实现顶网的铺设。



滑移支架与巷道支护形式配合图

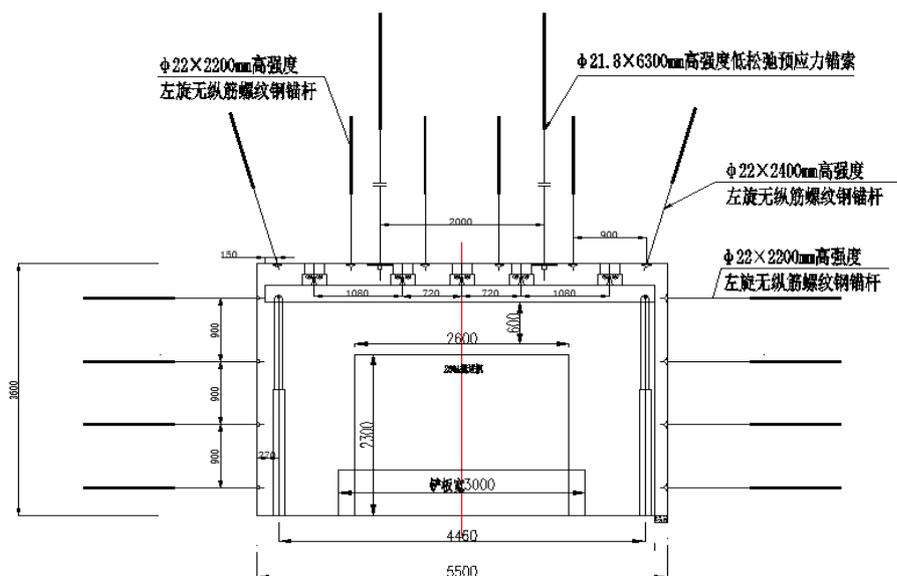


图 11 临时支护设备介绍

三、智能化建设成效

（一）生产组织方面

工作面采用“三八”制作业，原先综掘工作面全煤巷道每班 2 个循环（1 个循环 2m），日进尺 8m。智能化掘进工作面建设及应用后，每班 3 个循环（1 个循环 2m），日单进水平由以前的平均 8m/天提升为 12m/天（一月作业天数按 25 日计算），掘进人效提高了 0.5 米/月/人。下阶段将继续对最大平行作业工艺工序调查研究，力争日单进水平达到 16m/天，月单进水平达到 400m/月。

（二）减人增效方面

原先掘进工作面割煤期间需配备综掘机司机 2 人，支护工 4 人，皮带司机 1 人，跟班电工 1 人，总共 8 人。智能化掘进工作面建设及应用后，操作综掘机期间只需配 1 名司机通过集控系统进行操作，支护时只需 3 名职工操作锚杆钻车，皮带由集控台进

行操作，整个工作面只需 4 人。

（三）安全效益方面

四采回风巷智能化工作面投入运行后，在少人、甚至无人操作下，完成高效、安全的井下掘进作业，提高了矿井综合单进水平，降低了工人的劳动强度，改善了工人的工作环境，提高了工作面现场安全度。为综掘工作面安全、高效、快速掘进提供了保证。

（四）推广应用前景

四采回风巷智能化工作面投入运行后，实现本地、遥控、井下集控和地面集控四种控制方式，在人员的配合下可实现智能化自主截割，工作面断面自动成型。井上下实现 5G 光纤通讯、实时语音讲话及井上工作面视频实时显示。自移机尾的一键启停及皮带系统的集中控制；提高了工作面自动化智能化程序，改善了综掘作业人员的工作环境和操作方式，提高了工作面现场安全度，形成了“可视化远程干预”的安全高效开采新模式。

案例 20 山西潞安集团和顺李阳煤业智能掘进系统

主要完成单位：山西潞安集团和顺李阳煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西潞安集团和顺李阳煤业有限公司，成立于 2004 年，位于山西省晋中市，是一家以从事煤炭开采和洗选业为主的企业，现隶属于晋能控股集团，省属国有企业。

李阳煤业井田面积 16.0869 平方公里，年生产能力 120 万吨/年，批准开采煤层为 8#、9#、14#、15#，现开采 15#煤层，平均煤厚 5.44 米，可采储量 10265 万吨（其中 15#煤层保有储量 5342 万吨，可采储量 4693 万吨）。李阳煤业为高瓦斯矿井，水文地质类型为中等。

（二）建设内容

李阳煤业两个智能化综掘工作面分别为 15310 辅助运输顺槽工作面和 15308 辅助运输顺槽工作面。两个智能化掘进工作面配置同样设备，智能掘进设备主要由智能型掘进机及智能化液压锚杆钻车、安全保障系统、运输系统和智能化控制中心等设备组成。各系统实现功能如下：

2.1 掘进系统建设情况

（1）采用 EBZ200H 型智能掘进机，搭载智能车载系统，具备手动、遥控及远程控制模式；能实现掘进机自主导航、位姿适应、坡度追踪和自动截割功能，并通过高清视频监控、结合数

字化地图将掘进机的位置、航向和姿态等信息三维可视化显示。

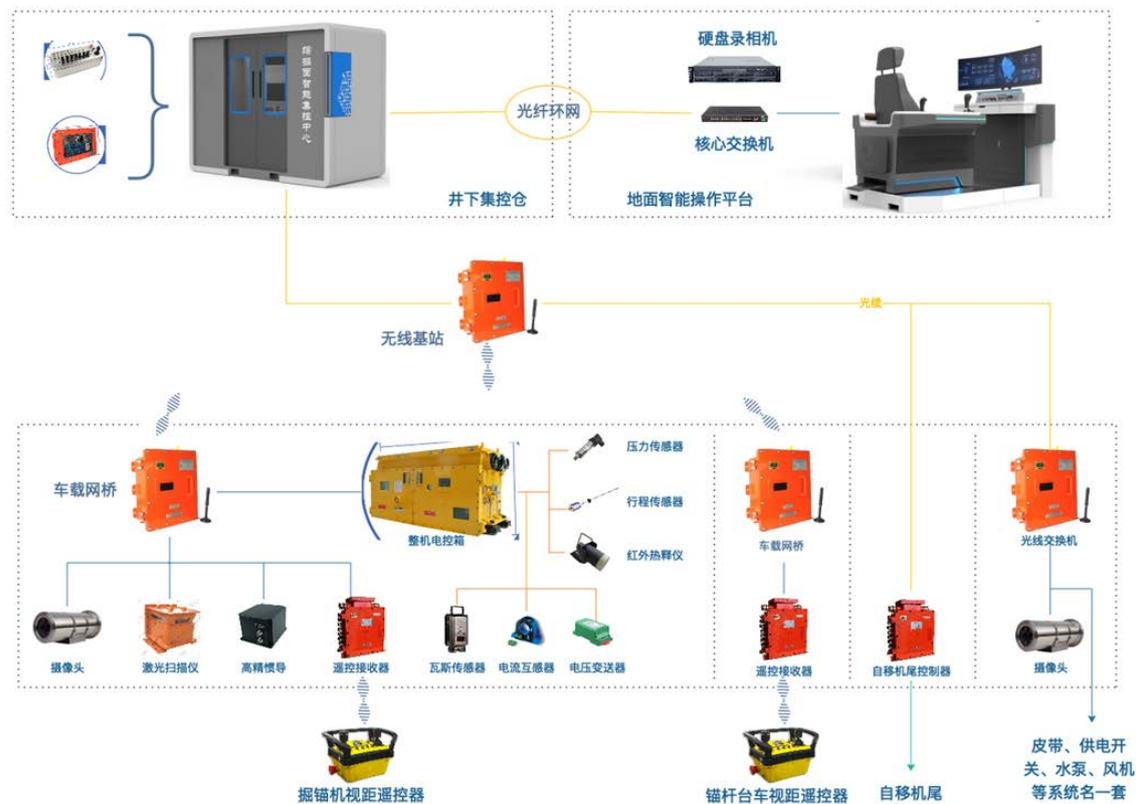


图 1 掘进系统拓扑图

(2) 采用 ZLJ-20 机载临时支护加 CMM2-25Y 型矿用液压锚杆钻车实现顶板超前支护及锚装机械化联动作业；并能够实现自动确定锚护位置、自动钻孔、工况在线监测及故障诊断、锚固质量自检验等功能。

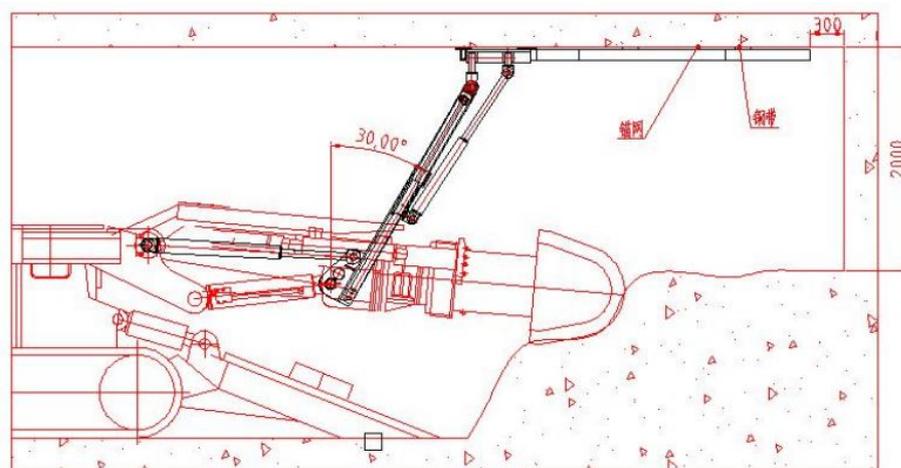


图 2 机载临时支护

(3) 采用 DSJ80/40/2×75 胶带输送机加 DWZY800/1000 加 TKC101 语音集控系统实现顺槽胶带输送机的状态监测、负荷保护、集中控制、自动张紧和机尾自移功能。

(4) 在井下和地面建设有顺槽控制中心和远程控制中心，并同步部署有智能化管控平台，能实现工作面掘进机、皮带机、自移机尾等设备的运行工况监测，故障诊断、全方位视频监控，能够实现一键启停及远程智能操控等功能。

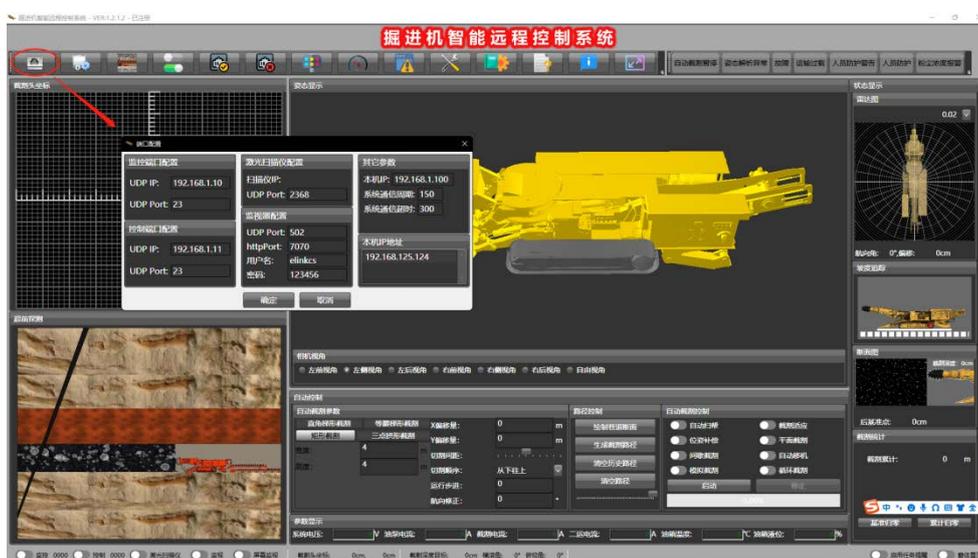


图 3 智能控制系统操作界面



图 4 井下集控中心及井下集控中心内监控画面

(5) 采用电子围栏防误入装置：具备人员精准定位功能，能实现人员接近危险区域自动识别并触发报警及停机闭锁功能。

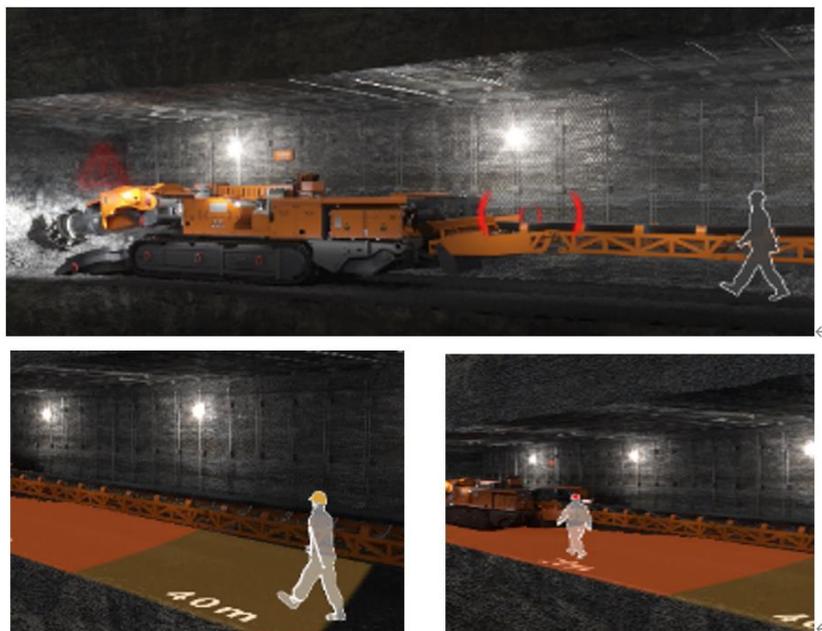


图 5 电子围栏防误入装置

(6) 环境监测系统能不间断监测工作面顶板、供风、水文、气体、粉尘等数据，超过规定值实现断电闭锁，并通过智能管控平台预警和撤出人员。

二、建设特征及先进性

李阳煤业以落实《晋能源煤技发[2021]40号》和《市能源煤技发[2021]1号》文件精神，根据晋能控股集团智能化建设发展思路的总体安排，结合李阳煤业实际生产状况，依据可行性、实用性、先进性的原则，统一规划智能化发展方向和发展目标。围绕发展方向和目标，积极调研煤矿智能化行业技术现状，主动对接智能化厂家，采用先进的装备与技术，将李阳煤业掘进机工作面打造成为系统先进、功能齐全、操作方便、安全高效的掘进工作面，实现机械化换人、智能化减人的目的。

此套智能掘进系统通过在掘进机机身上增加行程、压力、流量、温度、加速度等传感器，配备激光雷达或惯导系统，通过一

整套程序算法实现视距遥控、远程操作、一键启停、记忆截割、自动截割、自适应截割、电子围栏防误入、环境检测、作业计划提醒等功能，满足煤矿掘进机工作面无人或少人操作、实时监测巷道掘进的需求。

系统通过截割臂行程传感器及掘进机机械结构设计数据确定截割头相对于机身的位置及姿态，通过三维激光扫描仪、倾角传感器定位机身相对与巷道的位置和姿态，将前两步数据结合形成截割头相对于巷道的坐标，将测算得到的坐标与人工录入的目标坐标对比，形成控制指令，控制机身、截割臂动作，实现截割头沿设定路径的自动截割、自主导向、坡度追踪等。

系统利用激光扫描仪、油缸行程传感器、三维建模软件等将掘进机自身姿态、掘进机相对与巷道的位置进行实时数字孪生，给远程操作人员展现实时三维动作及场景，使掘进机的各个动作能够在三维环境中复原，更直观、形象，操作人员通过观察三维场景即可实现对掘进机的远程控制，降低因粉尘对远程操作产生的影响。

系统配备有井下综掘智能集控中心布置在皮带机头（或专用硐室），配置有 2 台矿用爆兼本安型计算机作为工作面集控系统上位机，1 台矿用本安型交换机，4 台矿用本质安全型显示屏；其中 2 台显示屏作为视频监控；1 台矿用 UPS 后备电源。安装的智能掘进控制软件除了能控制掘进机外，还能与胶带输送机保护装置、实现通讯融合，局扇风机及启动器设备、顺槽排水电泵、配电点馈电开关等井下设备实现通讯融合，实现集中控制各种掘进后配套设备的启停、运行和监测。

掘进工作面智能化建成后，配套的掘进系统在李阳煤业掘进巷道得到了较好的应用，取得了很好的效果。整套系统配置先进，均采用了国内知名品牌，并保有较大的安全裕度，保证了系统的先进性能。同时整套控制软件由专业的技术研发团队开发，并通过井下实际运行操作并进行了多代改进，保证了系统具有很高的成熟度和稳定性。目前此套智能化系统无论在技术性能方面还是在使用操控方面均处于国内领先水平。

三、智能化建设成效

李阳煤业智能化矿井的建设实现了矿井掘进工作面的智能化管控，减少了掘进工作面的人员数量，单班掘进队由 13 人降低到 10 人以下，同时其中一部分人员从井下高危区域置换到了地面或井下集控室，通过井下集控室和地面操作台对巷道掘进设备进行远程操作控制，改变了之前的掘进模式。同时配备的智能化锚杆钻机和机载临时支护，将传统人工抬网、抬锚杆钻机、人工上钻杆的全人工模式换成了机器铺网、机器打钻、机器上钻杆的模式，再使用视距或远程操作锚杆钻机和临时支护设备，将纯手动搬运操作转变成全机械自动化搬运操作，节省了人员，大大降低了操作人员的劳动强度，改变了煤炭行业的开拓模式和社会形象。

智能化掘进工作面建设通过对工作面的掘进设备、运输设备、环境检测设备以及其他设备的集中统一管控和数据上传，制定清楚运行边界条件，通过智能自动分析解决了煤矿掘进系统安全生产相关业务数据的统一管理和集成问题，实现了煤矿企业安全生产技术的分布式、协同管理，实现网络环境下的远程指挥与调度

管理，彻底改变了煤矿原先的分散式、点状化、信息相互孤立的调度管理模式。同时自动化与监测数据共享提高了劳动效率，减轻了劳动强度；数据的自动传输，消除了人为误差，进一步提高了决策的准确性、可靠性。系统建成后，各种监测数据通过井下环网快速上传至调度室，工作人员在调度室通过监控大屏，就能够实时看到井下掘进工作面的一切工作状态，了解到各设备的运行状态和参数情况，直接准确掌握到工作面的环境参数，让整个矿山的生产效率得到有效提升，让各项工作安全高效快速的推进。

智能化掘进工作面的建成应用，提高了掘进工作面的基础地理信息的标准化程度，保证了数据的实时性和准确性，提升了掘进工作面的安全性和高效性，为企业宏观管理、保障安全生产、领导决策支持等提供了重要数据支撑。

第三章 智能综采系统建设

案例 21 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

（一）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。

（二）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。

（三）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。

（四）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况监测、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。

（五）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。

（六）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。

（七）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。

（八）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和一键启动，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 22 华宁焦煤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。

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、工作面九线一齐一色”（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~机~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安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）前部刮板运输机机尾自动张紧

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 9900 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 23 王家岭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王家岭矿

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、多模式融合的智能化放煤控制机理，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、“煤研动态识别-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存在一定区别，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。

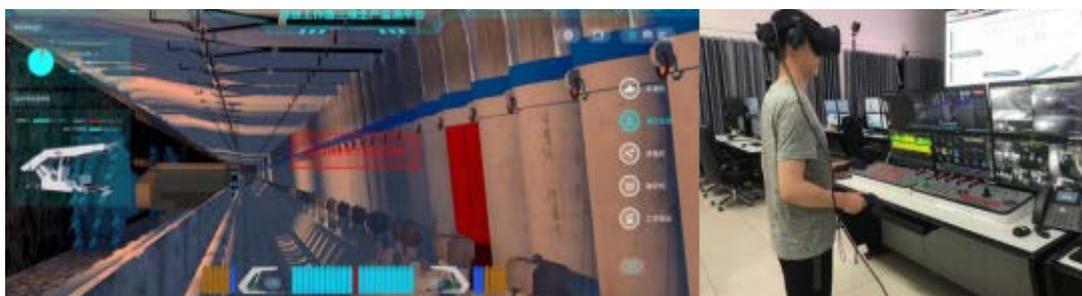


图2 井上下协同控制系统

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

（一）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。

（二）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。

（三）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

（一）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。

（二）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 万吨/年。

（三）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 24 三元煤业综采 5G 全景动态视频拼接系统

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）矿井概况

晋能控股煤业集团三元煤业始建于 1984 年，1996 年 6 月试生产，1997 年 9 月正式验收投产，井田面积 19.8 平方公里，批准开采 3#~15#煤层，保有储量 3.06 亿吨。煤层赋存条件良好，煤层倾角 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，现开采 3#煤层，可采储量 3897 万吨，平均厚度 7.18 米。地质条件简单，水文地质类型为中等，属高瓦斯矿井，核定生产能力为 260 万吨/年。

（二）建设内容

我矿智能化矿井项目是根据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》和山西省发布的《2022 年度全省深入推进煤矿智能化建设工作方案》、《智能煤矿建设规范》以及《山西省煤矿智能化建设指导手册》的基础上，进行规划。在信息基础设施、地质保障系统、采掘系统、主运输系统、辅助运输系统、综合保障系统、安全管控系统以及经营管理系统八大版块的基础上，增加了智能洗选和创新应用版块，共计 10 个版块，37 个项目。

本次申报的案例重点介绍我矿在综采 5G 全景动态视频拼接系统的创新和总结。

具体包含以下建设内容：

1. 5G 700M 网络

5G 网络覆盖井底车场、南翼胶轮车巷和皮带巷、中央变电所、四采区变电所、四采区东西翼、4326 综采和 4322 掘进工作面。

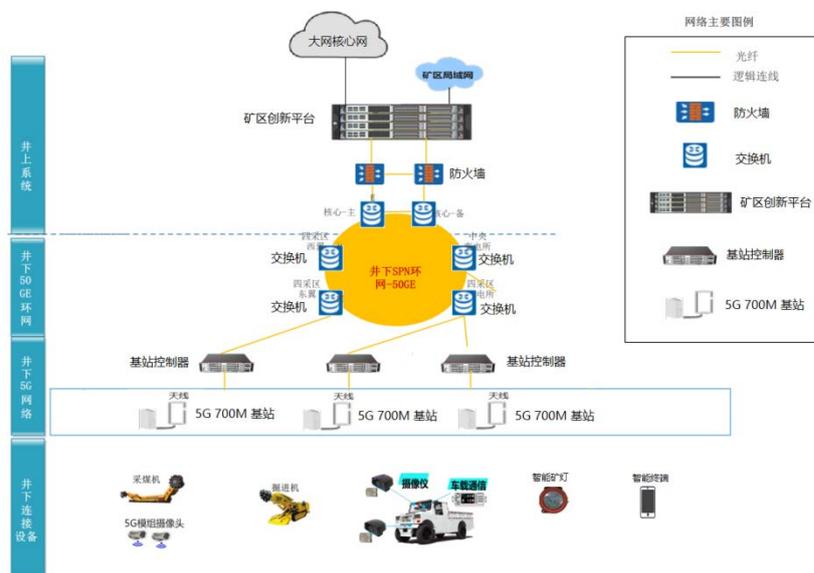


图 1 三元煤业 5G 700M 网络架构图

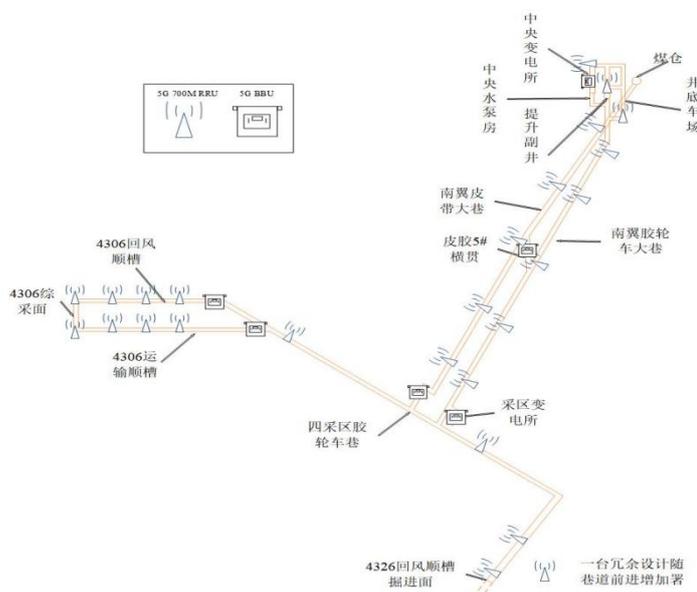


图 2 三元煤业 5G 700M 基站部署点位图

2. 全景动态视频拼接系统

- (1) 在井下综采面液压支架处部署 120 架 5G 摄像机。
- (2) 在井上机房部署视频服务器。

(3) 在视频服务器上部署拼接算法和视频应用软件。

(4) 系统与集控系统对接，获取煤机设备信息。并与远程操作台、调度大屏对接，呈现全景视频。

通过以上建设内容，综采 5G 全景动态视频拼接系统可实现以下功能：

1. 动态跟机全景视频

系统与煤机定位系统对接，获取煤机位置信息，调用煤机周边的相机视频，利用全景视频拼接技术，得到整个割煤机的动态全景视频。

2. 全采面视频巡航

系统支持全采面的相机视频拼接，通过左右滑窗实现全采面视频巡航。

3. 多视角视频

针对生产重点关注的“三平两直”，调用部署在特殊点位的相机视频，与全景视频形成互补，确保精确远控。

4. 一点即视

双击全景视频的任意图像点，即可调阅对应位置的原始相机视频。

5. 历史视频回放

系统支持对视频进行存储和回放，存储周期为 30 天。

6. 综采面仪表盘

系统与集控平台对接，实时呈现煤机动态位置/速度/摇臂角度/滚动高度/截割电流等设备信息。



图 3 综采 5G 全景动态视频拼接系统界面

二、技术特点及先进性

综采面对“无人、少人、安全”是存在刚需的，因此综采远控一直是三元煤业探索和追求的智能化目标，而井下实时视频是远程操控的前提，在最初进行综采面实时视频采集时遇到了以下问题：

（一）数据传输问题：原先煤矿井下网络带宽小，影响视频传输的效果，视频传输可能会出现卡顿、延迟等问题，甚至导致数据丢失，这一点已经由 5G 700M 所提供的大带宽所解决。

（二）视频覆盖范围有限：以前受限于环境和设备的因素，可以安装的摄像头数量有限，有了 5G 700M，大量摄像头可以通过无线接入的方式方便地安装到支架上，大大提升了视频监控覆盖区域。

（三）整体看不全：以前采用独立摄像机画面监控，只有局部视角，无法一次性看全综采面全景，三机启停、移动、收放工序等衔接协同无法一次性看全，远控司机找不到空间感，无法真正实现远程割煤。

（四）细节看不准：看不清上滚筒碰撞帮板、上滚筒碰撞前探梁、下滚筒探底不到位等关键细节，导致远控存在安全生产风

险。

井下视频看不全、看不准，是制约综采面实现精准远控的最大瓶颈。三元煤业的综采面全景视频拼接系统，通过在 4306 综采工作面部署 100 多路 5G AI 摄像头，并结合视频拼接技术，为井下综采工作面绘制了一副长长的“画卷”。在实现综采面全景可视的同时，叠加采煤机前后滚筒工作区的特定视角，为综采远控司机提供“身临其境”的煤机驾驶感受。并结合综采远程操作系统，从而实现了井上远控采煤。

三、智能化建设成效

相比于传统的井下“九宫格”画面，本方案通过业界首创的短物距、大视差的动态视频拼接技术，还原井下综采面作业现场，实现“看的全、看的清”，进而支撑综采面远程操控的落地，当前在三元煤业达成以下几点价值：

（一）全面掌握煤矿井下情况：通过视频拼接技术，可以将煤矿井下各个角落的画面拼接成一个整体，实现对井下所有区域的全面监控和掌握。这样可以提高井下安全生产的水平，预防事故的发生。

（二）提高作业效率：在煤矿综采面作业时，需要监控和协调多个工作面，多个设备和人员的作业，通过视频拼接技术，可以将这些作业面的画面拼接到一起，方便工作人员全面了解各作业面的情况，协调作业，提高作业效率。

（三）降低人工值守疏漏：传统的监控方式需要人工值守多个画面，工作强度大，容易出现疏漏，通过视频拼接技术，可以实现对多个区域的全面监控，避免人工值守疏漏。

（四）方便事后分析：在煤矿生产中，难免会出现一些意外情况，如设备故障、安全事故等，通过视频拼接技术，可以将事故现场的画面拼接起来，方便事后分析和查找事故原因。



图 4 三元煤业 5G 远控采煤作业场景

案例 25 斜沟煤矿千万吨级矿井智能化综采工作面建设

主要完成单位：山西西山晋兴能源有限责任公司斜沟煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西西山晋兴能源有限责任公司斜沟煤矿成立于 2003 年 10 月 21 日，位于革命老区兴县魏家滩镇，是国家“十一五”规划重点建设的十个千万吨级矿井之一和山西省重点工程。井田属于河东煤田离柳矿区，井田面积 82.64km²，可采储量 14.77 亿吨，设计生产能力 1500 万吨/年，设计服务年限 75.7 年。矿井采用斜井开拓方式，主要开采 8#煤和 13#煤，其中 8#煤采用一次采全高采煤法回采，13#煤采用放顶煤采煤法回采。8#煤平均厚度 4.87m，顶板为砂岩，比较稳定，底板以泥岩为主，岩体质量良中等。13#煤平均厚度 13.88m，顶板以砂质泥岩为主，局部砂岩，基本稳定，底板多为泥岩。8#煤与 13#煤层间距为 52.42m。矿井为低瓦斯矿井，各开采煤层自燃等级均为 II 类，煤尘均具有爆炸性。

（二）建设内容

1. 建设情况

斜沟矿 18106 智能化综采工作面可采走向长度为 3562m，切眼长度 297m，工作面煤层平均厚度 6.12m。煤倾角 6.9~10.8°，平均 8.8°，可采储量为 935 万 t。工作面采用国内外先进的久益自动化成套综采装备，于 2010 年 10 月建成了智能化综采工作面，实现了采煤机自动割煤、电液控系统自动移架、设备集中控

制、一键启停和视频监控。

2. 主要内容

(1) 工作面使用久益公司生产的 7LS7 型智能化采煤机，内置 LASC II 惯导装置，实现了自主定位、直线度检测、姿态调整、智能调高、防碰撞、煤流平衡控制功能。采煤机具有全工艺段可编程自动化割煤功能，该功能基于采煤机先进的电控系统，同时配合高精度传感器、比例阀以及可编程的 GOLP 软件来实现的。传感器用于检测煤机姿态和位置，比例阀用于实现截割滚筒精确控制，GOLP 编程器可帮助操作人员对现场工况和割煤工艺进行设置，从而确保在不同的工况环境下实现采煤机的自动化生产。



图 1 工作面实景图片 1

采煤机所有自动化顺序表参数可自定义名称，可实时进行修改和校准，所有工艺变化点的采煤机参数可通过人工方式设置或设备自行学习。当工作面走向角度发生变化时，采煤机能够自动控制尾滚筒，同时对机身的水平、垂直角度以及端头的卧底量进

行控制，割出比人工割煤更加平滑的底板，确保了工作面采高的一致性和连续性。

(2) 采用郑煤机生产的 ZY10800/28/63D 液压支架，安装久益 RS20i 电液控系统。系统具备支架伸/缩高度、压力、倾角等支护状态监测功能，能够跟随采煤机在全工作面范围自动完成支架伸收护帮、移架、推溜、喷雾除尘等动作，具备远程控制、姿态感知、自动补压、顶板压力分析与预警、智能防碰撞等功能，依靠 LASC 软件实现工作面了设备的自动调直。工作面两巷的超前支架也采用电液控系统，实现了远程控制。

人员临近识别功能：当安装在支架上的电液控制器检测到人员识别卡后，会在其所在位置周围创建一个安全区域，随着携带识别卡的操作人员在综采工作面支架内移动，安全区域也随之移动，同时安全区域内禁止支架自动移动，从而避免了在自动化生产过程中产生的人员安全隐患。

3D 防碰撞功能：使用行程传感器检测支架伸缩梁和护帮板位置，当护帮板因故障未能及时收回时，煤机将在安全间距处停止，并等待护帮板收回。使用三个分别安装在顶梁、四连杆和底座的倾角传感器检测支架姿态，当支架顶梁过低，煤机和支架将停止自动运行，防止顶梁与采煤机或端头设备发生碰撞。当携带采煤机遥控器的司机发生跌倒时，遥控器内置的加速度传感器会监测到相应动作，立即停止支架和采煤机的自动运行，待人员安全后并人工复位后，方可重新开始自动化生产。

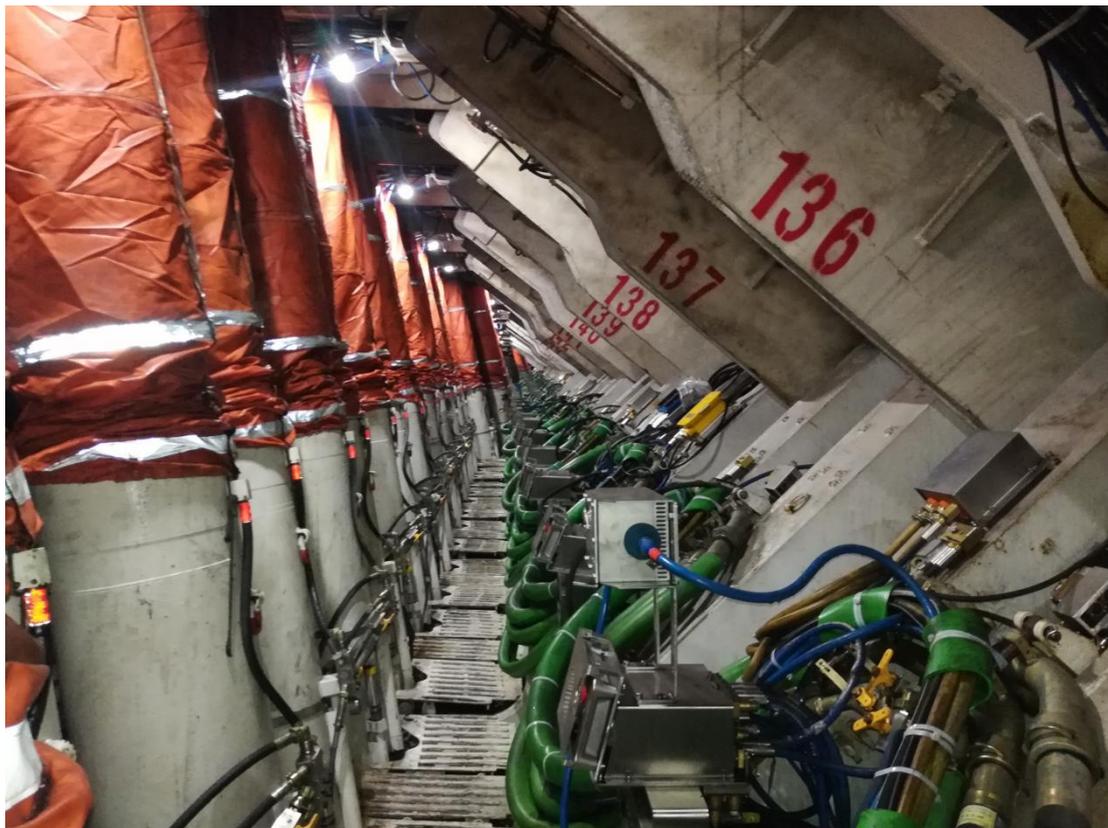


图 2 工作面实景图片 2

(3) 采用山西煤机公司生产的 SGZ1250/2400 型大功率刮板输送机，运输机、转载机均采用了组合式高压变频器驱动，实现了远程启停控制和状态监测，提高了三机运行可靠性，降低了输送系统的能耗和磨损。转载机处安装有雷达式煤量扫描装置，实现了根据煤量自动调节采煤机速度和刮板输送机速度。顺槽带式输送机具备带速、温度、电流等监测功能和完善的综合保护，采用了变频自动张紧、电液控制的自移机尾，全矿带式输送机实现了调度集控一键启停和状态监控。

(4) 配备了顺槽集控中心和地面调度远程控制中心，可在顺槽和调度室实现对工作面主要设备的一键启停和远程监控，具备故

障预警、故障诊断功能，工作面具有完善的安全和视频监控系统。工作面采用电控液压自移式设备列车，采用远程集中供液系统，地面配液站进行自动配液，井下泵站采用电磁调压阀，可根据设定压力自动加压。



图3 顺槽集控中心和地面调度远程控制中心

三维可视化监控：地面调度远程控制中心工作面安装了三维

可视化监控系统，利用井下设备的实时数据来显示综采设备的实时运行状况，可在三维图形上实时监控采煤机当前位置、运行方向和速度、左右截割滚筒高度、采煤机倾角、支架倾角、支架护帮板状态、伸缩梁状态、推移油缸状态、立柱压力等数据。可用于实时监控、操作培训和历史数据回放分析等，大幅度提升了智能化工作面的整体生产力。

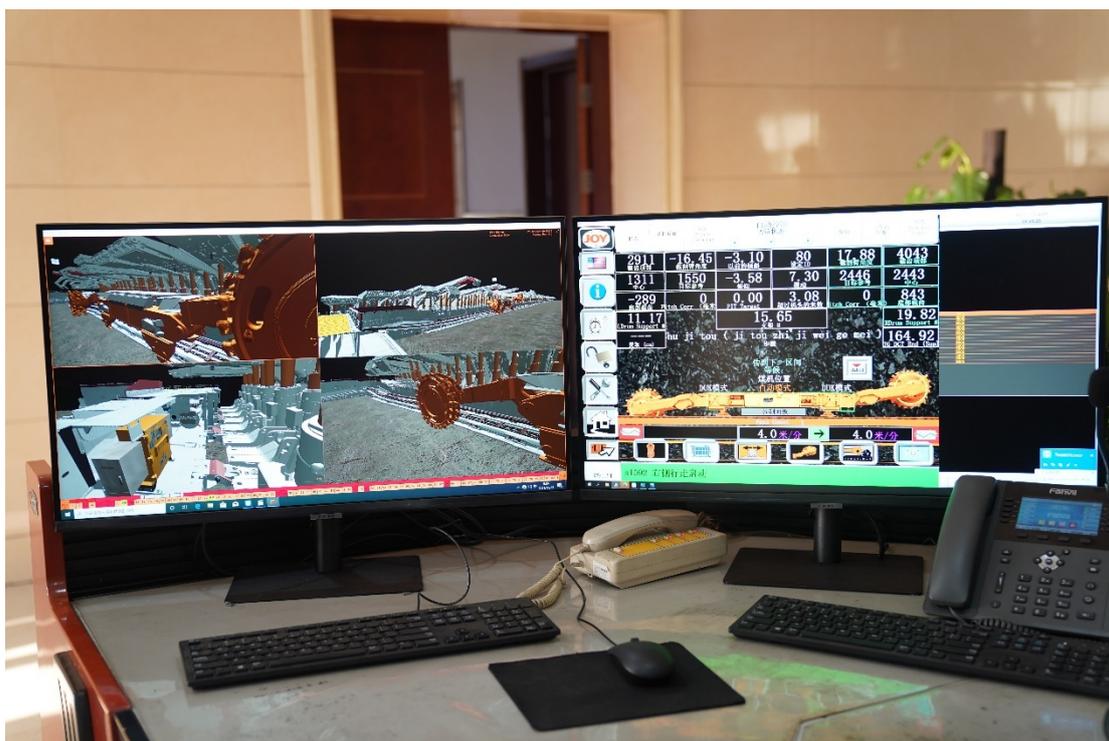


图 4 地面调度远程控制中心三维可视化监控

二、技术特点及先进性

（一）18106 智能化综采工作面使用统一的久益自动化控制系统，久益采煤机内置 LASC II 惯导装置和 ASA 高级自动化割煤功能，与久益 RS20i 电液控配套使用，液压支架具备精准推溜和自动调直功能，调直精度满足生产需求，刮板输送机采用高压变频器驱动，达到了采支运协调智能联动。

（二）久益（JOY）公司 7LS7 型智能化采煤机安装有最新的 LASC II 惯导装置，实现了自主定位、直线度检测、姿态调整、

智能调高、防碰撞、煤流平衡控制、故障预警和智能诊断、智能化报表等功能。采煤机具有可编程高级自动化割煤功能，当综采工作面走向角度发生变化时，采煤机能够自动控制尾滚筒，同时对机身的水平、垂直角度以及端头的卧底量进行控制，割出比人工操作更加平滑的底板，确保了工作面采高的一致性和连续性。

（三）液压支架安装了久益 RS20i 电液控系统，具备支架伸/缩高度、压力、姿态监测功能，实现了自动跟机、自动补压、矿压监测分析、远程控制功能。依靠 LASC 调直软件和液压阻尼阀，实现了工作面设备精准的自动调直。工作面两巷的超前支架也采用电液控系统，实现了远程控制。

（四）电液控系统具备基于精准定位的人员临近识别功能，可确保自动跟机过程中的人员安全。采煤机和液压支架通过内置的行程和姿态传感器，依靠久益自动化控制中心实时监控，实现了高可靠的 3D 防碰撞预警和自动停机功能，提高了自动化作业连续性。依靠完善的姿态传感器数据进行三维建模，实现了综采工作面设备三维可视化监控，实时监视工作面设备运行状态、报警信息，提高了工作面生产力。

（五）刮板输送机，运输机、转载机均采用组合式高压变频器驱动，转载机处安装了雷达式煤量扫描装置，根据煤量自动调节采煤机速度和刮板输送机速度。

（六）工作面具备智能化报表功能，服务器每天自动生成生产报表，可帮助综采队分析和掌握综采设备的使用情况、生产循环时间、班组对比、调直情况、故障趋势等。

18106 智能化综采工作面配套的采煤、支护、运输、控制采

用了行业先进的装备，智能化水平达国内一流，工作面于 2021 年 10 月建成投产，自动化率稳定在 85%以上。于 2022 年 3 月通过山西省能源局验收评定为全省第一个高级智能化综采工作面，具有较强的示范和推广价值。

三、智能化建设成效

18106 智能化综采工作面于 2021 年 10 月建成投产，目前已稳定运行近 1 年时间。

安全效益：智能化工作面显著减少了工作面作业人员，正常开机仅需泵站工 1 人，采煤机司机 2 人，支架工 2 人，三机工 2 人，工作面从 12 人减少至 7 人。极大减轻了工人劳动强度，采煤机司机只需巡视采煤机的上下滚筒的高度，进行微调即可，支架护帮板自动收打，无需专人操作，减少了跟机拉架人员和推溜人员，做到了“少人则安”。

经济效益：通过智能化建设，18106 工作面自动化率稳定在 85%以上，采用智能化后每一刀的割煤时间为 1 小时 30 分钟，比之前缩短了 30 分钟。圆班刀数由之前的 8 刀增加至 10 刀，圆班产量增加 3600 吨，每年可增加销售额约 9 亿元。工作面自 2021 年 10 月份投产以来，月均推进 150 米，月原煤产量可达 40 万吨。

指标	智能化改造前	智能化改造后
综采队总人数	101 人	65 人
单班人数	11 人	7 人
采煤机司机	3 人	2 人
拉架人数	3 人	1 人
原煤生产人员效率	180t/工	280t/工
设备故障率	0.80%	0.50%
日产原煤	10860t	14480t
月产原煤	258468t	344624t

回采率	87%	95%
-----	-----	-----

案例 26 晋保煤业 13102 大采高智能化工作面的研究应用

主要完成单位：山西忻州神达晋保煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西忻州神达晋保煤业有限公司矿井位于保德县城南 46km 南河沟乡扒楼沟村西南附近，行政区隶属保德县南河沟乡。2012 年 11 月 27 日山西省国土资源厅为我矿下发新的采矿许可证，批准开采 8#、12#、13#煤层，井田面积 10.0725km²。我矿井田北与忻州神达金山煤业有限公司相邻，南与西山煤电集团斜沟煤矿井田相邻，东为露头区域，西部为空井田。

2021 年 10 月 28 日由山西省能源局下发《关于山西忻州神达晋保煤业有限公司核定生产能力的批复》（晋能源煤技发〔2021〕483 号），同意晋保煤业生产能力由 180 万吨/年核定为 300 万吨/年。



图 1 晋保煤业办公场地

（二）建设内容

1. 支架电液控制系统

（1）系统组成

电液控制系统采用郑煤机 ZE07~04 型电液控制系统，主要由：支架控制器、电磁阀驱动器、电液换向主阀、反冲洗过滤器、隔爆兼本安型稳压电源、矿用本安型双向隔离耦合器、矿用本安型中继器、矿用本安型信号灯、压力传感器、位移传感器、倾角传感器、采煤机定位系统、支架无线遥控器等组成。

1) 工作面液压支架中间架 170 架控制方式为电液控制，采用 20 功能 21 接口矿用本安型电液控换向主阀组+4 功能 4 接口矿用本安型电液控换向副阀组。

电液控换向主阀组功能（以最终设计为准）：

功能 1/2：立柱 升/降 （2 功能，3 出口，3~DN20）

功能 3/4：拉架/推溜 （2 功能，2 出口，2~DN20）

功能 5/6：平衡千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 7/8：侧推千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 9/10：抬底/喷雾 伸 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 11/12：一级护帮 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 13/14：二级护帮 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 15/16：三级护帮 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

0)

功能 17/18: 伸缩梁千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 19/20: 底调千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10) 主进液: P=DN25; 主回液: R=DN32

电液控换向副阀组 (以最终设计为准):

功能 1/2: 尾梁千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

0) 功能 3/4: 插板千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

2) 工作面液压支架过渡架 2 架控制方式为电液控制, 采用 20 功能 21 接口矿用本安型电液控换向主阀组+6 功能 6 接口矿用本安型电液控换向副阀组。

电液控换向主阀组功能 (以最终设计为准):

功能 1/2: 立柱 升/降 (2 功能, 3 出口, 3~DN20)

功能 3/4: 拉架/推溜 (2 功能, 2 出口, 2~DN20)

功能 5/6: 平衡千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 7/8: 侧推千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 9/10: 抬底/喷雾 伸 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 11/12: 一级护帮 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 13/14: 二级护帮 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 15/16：三级护帮 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 17/18：伸缩梁千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）
功能 19/20：底调千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

主进液：P=DN25；主回液：R=DN32

电液控换向副阀组功能（以最终设计为准）：

功能 1/2：尾梁千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 3/4：插板千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 5/6：侧帮千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

3) 工作面液压支架端头架 6 架控制方式为电液控制，采用 20 功能 21 接口矿用本安型电液控换向主阀组。

电液控换向阀组功能（以最终设计为准）：

功能 1/2：立柱 升/降 （2 功能，3 出口，3~DN20）

功能 3/4：拉架/推溜 （2 功能，2 出口，2~DN20）

功能 5/6：平衡千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 7/8：一级护帮 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 9/10：侧护千斤顶 伸 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 11/12：底调千斤顶 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

功能 13/14：喷雾/抬底 伸/收 （2 功能，2 出口，2~DN10）

0)

功能 15/16: 尾梁千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 17/18: 插板千斤顶 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN10)

功能 19/20: 二级护帮 伸/收 (2 功能, 2 出口, 2~DN1

0)

主进液: P= DN25; 主回液: R=DN32

4) 工作面液压支架机巷超前支架 2 组 4 架控制方式为电液控制, 采用 18 功能 18 接口矿用本安型电液控换向主阀组; 风巷超前支架 3 组 6 架控制方式为电液控制, 其中 4 架采用 18 功能 18 接口矿用本安型电液控换向主阀组, 另 2 架采用 20 功能 20 接口矿用本安型电液控换向主阀组。

(2) 系统功能

1) 电液控系统能够完成支架的各种动作功能; 邻架、隔架单动作控制, 实现本架电磁阀按钮的手动操作。

2) 电液控制系统具有单架自动控制功能, 实现支架的升降、推移动作的自动控制。

3) 电液控制系统通过对采煤机位置及运行方向的识别, 可以实现工作面液压支架跟随采煤机作业自动化控制功能: 自动伸收护帮、自动伸收伸缩梁、自动跟机移架、自动推溜以及跟机自动喷雾控制功能。

4) 电液控系统具备无线遥控功能, 配置 10 件无线遥控装置; 并具备遥控位置就近与所在区域控制器提前配对, 避免支架遥控器配对读码时间, 提高操作效率, 无线遥控功能主要包括: 单架动作和成组动作等。

5) 工作面每架配置 1 件压力传感器，电液控制系统实现初撑力自动保持功能，补偿初撑力可调（不超过泵压）；具有带压移架功能。

6) 超前支架每架配置 1 件压力传感器，用于监测立柱压力，压力数据可以上传到集控中心，在井下和地面自动化软件界面可以显示实时压力。

7) 工作面每架配置 1 个位移传感器，监测推移行程，配合推移调速阀实现支架精准推溜。

8) 每台支架配置 1 台自动反冲洗过滤器，过滤精度 $25\ \mu\text{m}$ ，流量 $900\text{L}/\text{min}$ ；反冲洗间隔周期及每次反冲洗时间可通过参数设定，并具备自动反冲洗区间设定功能，反冲洗位置记忆功能，当设备重启后从当前记忆位置继续反冲。

9) 工作面每台支架配置 1 件推移调速阀，实现对液压支架推移千斤顶的精准控制，配合采煤机惯性导航系统，实现工作面运输机的精准推溜。

10) 配备红外线发射、接收装置，可与工作面采煤机实现联动，同时具有接收采煤机数字信号实现联动功能，支架能满足与采煤机、刮板机进行自动割煤要求，在三角煤区域也能实现自动拉架（在地质条件良好、安全的前提下）。

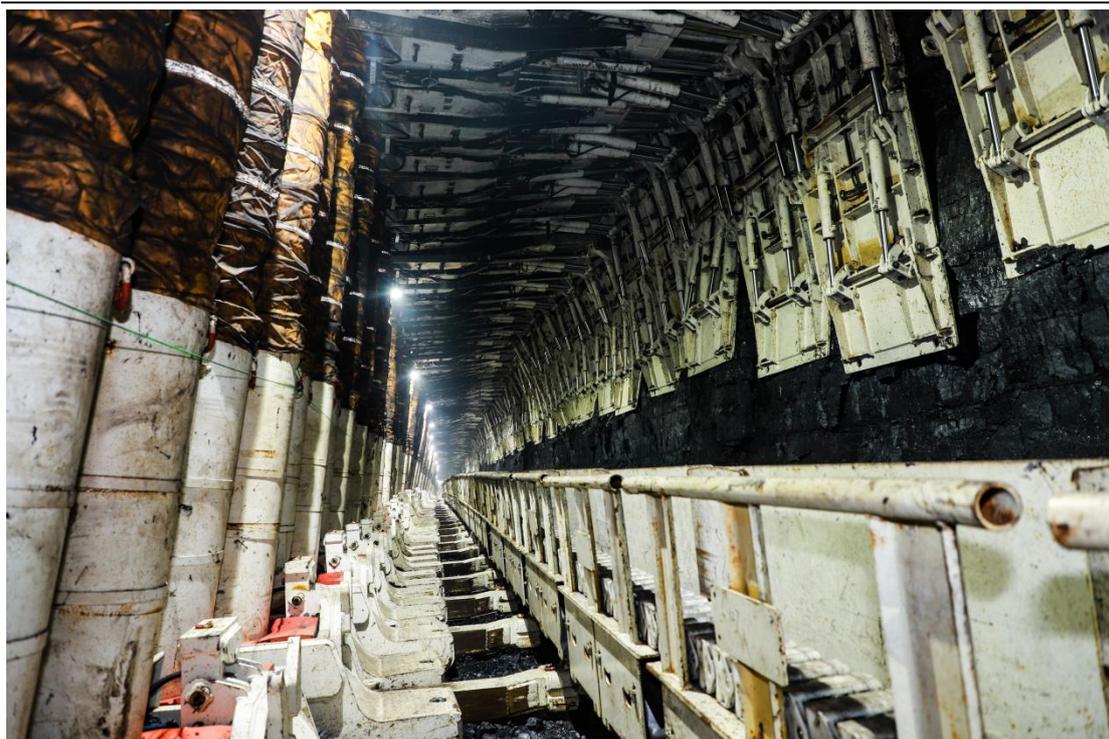


图 2 工作面实景图片

11) 工作面每架配置 4 件倾角传感器, 分别安装在支架底座、连杆、顶梁、护帮处; 用于监测支架高度及姿态, 能够在顺槽集控中心自动化平台实时反馈支架姿态。

12) 电液控制系统每台支架配置 1 件支架警示灯, 支架动作时警示灯闪烁 (安全、闭锁、急停/动作), 保障人员通行安全。

13) 每 6 台支架配置一件隔爆兼本安型稳压电源, 供电电压为 AC 127V 50Hz, 用于给电液控系统供电。

14) 电液控系统连接器具有快插功能, 插接可靠, 有较好的抗砸、抗挤、抗拉能力, 插接灵活。

15) 电液控系统设有声音报警、急停、本架闭锁及故障自诊断显示功能, 并能方便地进行人工手动操作, 能够在线进行参数调整设定和现场程序装载与更新。

16) 电液控系统实现对立柱的工作压力、推移千斤顶的行程、煤机的位置、煤机的方向进行监测的功能, 能够在井下电液控制

主机（如上自动化包含在集控中心）上对上述信息进行显示和存储 60 天历史记录。

17) 控制系统能够提供接口与自动化集控系统进行双向通信，控制系统将系统内传感器所有检测数据和动作信号都传输给集控系统。

18) 电液控制系统具备工作面增加、减少支架后电液控系统的扩展功能。

19) 具备多种操作方式及方便灵活的按键动作配置，可在不修改程序的情况下配置各种架型适用的动作功能。

20) 控制系统实现传感器接口扩展功能，为后期接入更多传感器提供硬件支撑，无需更换现有控制系统。

21) 操作指示牌固定在主阀上，标示清晰，固定牢靠。

22) 所有液压产品按 DN 系列制造，该控制系统与支架液压系统匹配。

23) 所提供的产品具有《煤矿安全规程》所规定的各种保护及要求，产品具有国家煤矿安全标志办公室颁发的煤矿产品安全标志证书，电气产品符合国家防爆标准并具有相应的防爆证书。

2. 采煤机远程控制

(1) 依据采煤机主机系统及工作面视频，通过操作采煤机远程操作台实现对采煤机的远程控制。

(2) 远程控制功能包括采煤机截割电机启停及摇臂升降、采煤机组的总启/停、左牵、右牵、急停等动作。

(3) 采煤机记忆割煤功能启动/关闭。

(4) 可以与刮板输送机电流关联，当刮板机电流过载运行

时可放慢采煤机的牵引速度，减少煤量；当刮板机电流超过设定上限时，自动停止并闭锁工作面采煤机，需要采煤机处于远程控制模式。

（5）实现支架防干涉功能，监测支架护帮板状态，在采煤机割煤过程中，监测到采煤机运行方向前方支架护帮处于打开状态，控制采煤机减速或者停机，需要采煤机处于远程控制模式。

3. 采煤机自动化功能

（1）具有高精度控制功能，采高控制精度优于 $\pm 5\%$ ，位置检测精度优于 $\pm 1\%$ 。

（2）提供开放的 MODBUS RTU 协议或者 MODBUS TCP 协议实现与自动化集控系统的双向通信，通过集控系统实现在顺槽和地面监控中心对采煤机实时远程自动监测、监控。

（3）具备可配置复杂工艺程序的记忆截割功能，以满足不同工作面的采煤工艺要求，采煤机自动运行时工艺程序可以在线修改、更新和灵活的工艺段选择。

（4）采煤机通讯稳定可靠，稳定连续传输总带宽不小于 20 Kbps；采煤机顺槽载波通讯传输延迟不大于 200ms，延时抖动小于 10ms。

（5）具备就机操作、远程自动控制两种模式互锁功能，在就机模式下，不允许远端控制；在远端控制模式下允许就机控制，用以保证采煤机操作的安全性。

（6）采煤机自动记忆截割模式下，各项操作均可以人工干预，人工干预具备最高的优先级。当工作面环境发生变化，记忆数据与实际数据差距较大时，采煤机司机可以使用在线学习模式

进行人工修正记忆截割数据。采煤机采高精度与牵引速度具有自适应调节功能，可在线学习修改记忆截割轨迹。

（7）开放控制权限，顺槽集中控制设备可对采煤机进行远程控制，包括采煤机电机的顺序启动、总停、行走方向和速度、采高调整、以及记忆截割的启动和停止等。

（8）采煤机能够支持通过 RS485 通讯接口或以太网接口将采煤机运行状态、报警及故障信息传输给集控主机。

（9）采煤机能够支持集控主机通过 RS485 通讯接口或者以太网接口控制采煤机以下动作：牵引启动/停止，牵引方向，牵引速度，左右滚筒升降，急停，电机顺序启/停、记忆截割启动/停止。

4. 采煤机工况显示

（1）与生产相关数据：采煤机的位置、速度、左右滚筒高度、左右摇臂轴承温度、机身仰俯角度、牵引方向、各电机工作电流等。

（2）运行环境数据：工作面瓦斯浓度，冷却水流量、压力，油箱温度等。

（3）故障信息：各电机的故障报警。

（4）采煤机监控界面可以通过输入框对采煤机运行参数进行调整，包括采煤机牵引速度、摇臂高度等。

（5）实现以上功能需采煤机厂家具备相应功能，并提供控制接口接入自动化系统，把设备的控制、数据点表提供给自动化厂家。

5. 采煤机惯导系统功能

（1）惯导系统安装在采煤机电控箱内，无线通信终端安装在采煤机前面板上，采煤机提供安装位置和 AC 220V 供电电源，惯导系统与工作面自动化控制系统及相关设备兼容，实现数据传输和控制。

（2）惯导系统将获取的采煤机行走轨迹数据传输至控制平台，控制平台进行协调控制，将需调整数据发送给液压支架电液控制系统，由电液控制系统对刮板运输机进行调整，实现对工作面直线度的调整。



图 3 井下顺槽集控中心

6. 皮带集中控制系统

（1）系统组成

顺槽集控中心 1 间，采用标准结构一体式集控中心。主要由：集控中心框架装配、矿用隔爆兼本质安全型计算机 2 台：用于对所有控制功能和逻辑判断进行处理，确保设备安全稳定的运行；矿用隔爆兼本质安全型显示器 6 台：其中 3 台用于视频监控，另 3 台用于对应操作台，矿用本安型键盘 2 件，矿用本安型云台摄像机 1 台、LED 照明灯 1 台及设备连接器组成。

三机、泵站操作台：用于对刮板输送机、转载机、破碎机、皮带机和泵站等的远程控制。

（2）胶带输送机集中自动化控制

1) 单设备启停功能，包括刮板输送机、转载机、破碎机、胶带输送机（需解除联锁）。

2) 顺序开机功能，启动顺序如下：胶带输送机>破碎机>转载机>刮板机。

3) 顺序停机功能，停机顺序如下：刮板机>转载机>破碎机>胶带输送机。

4) 具有急停闭锁功能。

（3）顺槽集中控制

1) 全自动控制模式：将综采自动化控制系统设置为“全自动化”工作模式，通过“一键”启停按键启动工作面综采设备。

2) 启动过程：泵站启动->胶带输送机启动->破碎机启动->转载机启动->刮板输送机启动->液压支架跟随采煤机自动化控制程序启动->采煤机启动->采煤机记忆割煤程序启动，全自动化启动。

3) 运行过程：实时监控工作面综采设备运行工况，当设备运行异常，可以通过人工干预手段对设备进行远程干预。如液压支架远程干预等，采煤机的远程干预需要采煤机厂家开放控制端口。

4) 停机过程：采煤机停机->液压支架动作停止->刮板输送机停机->转载机停机->破碎机停机->胶带输送机停机，全自动化停止。

5) 急停：按下操作台“急停”按钮，工作面所有设备停机。

6) 分系统自动控制模式：将自动化控制系统设置为“单机”工作模式，可以单独对综采设备进行自动化控制。

二、技术特点及先进性

（一）支架采用初撑力自动保持、自动补压技术。当压力降至某设定值时，电液控系统会自动开户升柱功能，直到达到规定压力后，停止供液。支架采用自动喷雾技术，由电液控换向阀独立控制，实现架前自动辅助采煤机喷雾。

（二）采煤机精度定位由具有特高频和双向通讯射频无线发射器、高精陀螺仪组成。在采煤机机身中部采用射频发射装置，采用安装架和亚克力防护盖防护，安装架和采煤机采用螺栓连接。

（三）项目技术及经济指标

1. 技术指标

1) 数据传输速度 $<200\text{ms}$ 。

2) 采煤机精确定位 $<50\text{mm}$ 。

2. 经济效益

项目研发成功后，实现在少人、甚至无人操作下，完成高效、安全的井下作业，最降低劳动强度，提高工作效率，改善工作环境、降低工作风险。预计为公司每年节省 200 万元。

案例 27 上榆泉煤矿 5G+智能采煤工作面

主要完成单位：山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

上榆泉煤矿位于山西省河曲县城南 25 公里处之黄河东岸，行政区划隶属河曲县沙坪乡、鹿固乡、巡镇管辖。井田面积 29.8 平方公里，截止 2022 年底保有资源储量 8.96 亿吨，剩余可采储量 5.75 亿吨，矿井原核定产能 500 万吨/年，2022 年核增产能为 700 万吨/年。井田内赋存 9#~13# 五层可采煤层，现开采 10# 煤层。矿井地质条件简单，顶板为浅埋深坚硬砂岩，煤层倾角 2~8°，II 类自燃煤层，自然发火期为 3~4 个月，煤尘具有爆炸性。矿井绝对瓦斯涌出量 2.66m³/min，相对涌出量 0.19m³/t，属于低瓦斯矿井。矿井涌水量正常 119m³/小时，最大 134m³/小时，水文地质条件属于中等型。矿井采用平硐开拓方式，单水平开采，布置“一采一备两掘”，采煤工作面采用综采放顶煤工艺，长壁后退式采煤法，全部垮落法管理顶板，掘进工作面全部使用掘锚机，配套使用连运一号车和桥式转载机。

（二）建设内容

1. 5G 网络建设

上榆泉煤矿在 I021009 工作面实现了 5G 网络全覆盖、装备了视频监控系统，利用 5G 低时延、高可靠、大带宽等特点，利用 5G 网络架构，实现无人/少人综采工作面、生产装备机械远程操控、AI 智能视频分析等功能，为煤炭生产核心信息化服务提

供有效支撑。

2. 智能化远程集中控制综采工作面建设

综采工作面单机设备自动化基础上，建立了一套以监控中心为核心，工作面视频、以太网、音频、远控为基础的集中自动化控制系统。该系统主要由液压支架电液控制系统、智能集成供水系统、综采自动化控制系统等组成，通过安装 AI 摄像头以及语音通话系统把人的视觉、听觉延伸到工作面，将工人从危险的工作面采场解放到相对安全的顺槽监控中心，实现在顺槽监控中心对液压支架、采煤机、刮板输送机、转载机、破碎机、顺槽胶带机、泵站、开关等综采设备进行远程操控，提高了煤矿综采自动化水平，改善煤矿开采安全条件，降低煤矿工人的劳动强度、提高了生产效率。

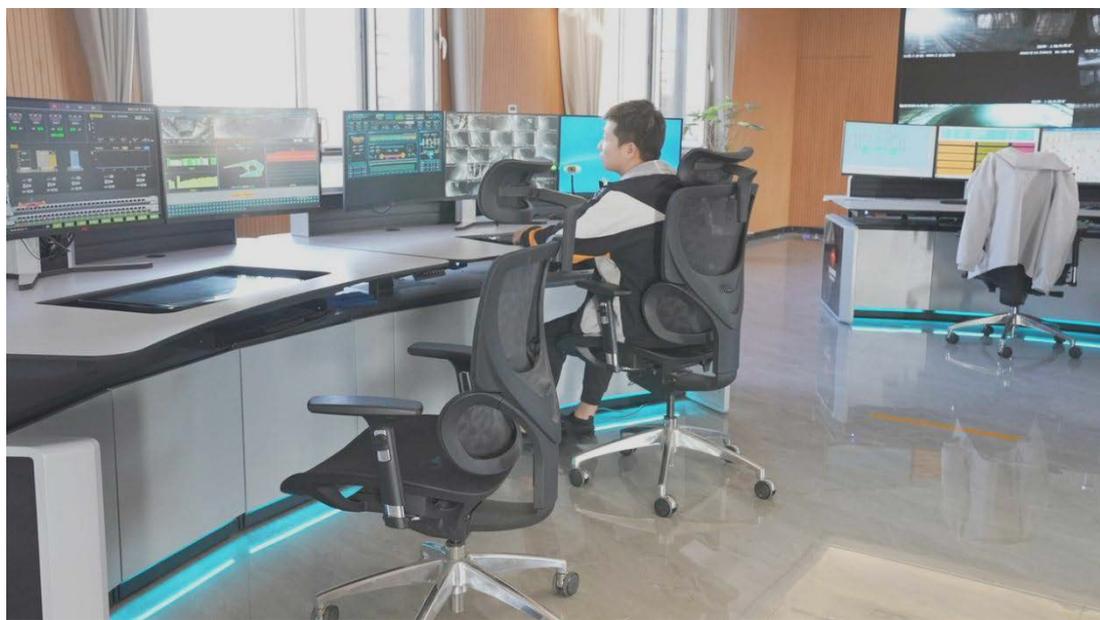


图 1 智能综采地面集控中心



图 2 智能综采井下集控中心

二、技术特点及先进性

（一）在设备列车上安装了电液控系统，使用遥控器操作实现设备列车快速拉移，该系统投入使用后有效提高了拉移设备列车的安全系数和工作效率，为采煤系统减人、提效、增安贡献了力量。

（二）在工作面每部支架安装人员接近探测器，当佩戴识别卡的人员接近支架时，人员所在支架自动停止动作，有效避免了自动跟机移架时支架动作造成人员伤害。

（三）建立智能化采煤工作面数据中心并接入智能一体化管控平台，实现了工作面设备监控、井下实况监控、生产统计分析报表、设备故障诊断、历史数据查询、报警与事件提醒等功能，采煤工作面数据中心可上传至智能一体化管控平台。

三、智能化建设成效

（一）通过建设 5G 网络有效降低数据传输的延时
I021009 智能化综采工作面投入使用后，从指令下达到机器

响应，过去要几百毫秒，现在只要 20 毫秒，各个作业点的画面、数据都能实时传回地面，自主截割、视频监控及人员靠近报警、故障自诊断与信息推送等多项智能化技术，降低了矿工劳动强度，提高了安全生产水平，真正实现了减人提效。

（二）通过对设备列车进行改造实现减人提效

通过在设备列车上安装一套电液控拉移系统及一定数量的摄像头，实现了 1 人使用遥控器就可完成拉移设备列车工作，每班减少 2 名拉移列车操作人员，2 名观察监护人员，每日每人 2 小时，4 人共计 8 小时，折合每班减少 1 名工作人员，月平均工资 10000 元，每年节约 12 万元。

案例 28 中煤塔山煤矿基于老旧设备智能化升级改造技术研究及应用

主要完成单位：中煤大同能源有限责任公司塔山煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

中煤大同能源有限责任公司塔山煤矿位于山西省大同市云冈区口泉乡上窝寨村北，煤矿井田面积 8.146km²，批复可采石炭系太原组 2#、3~5#、6#、7#、8#、9#煤层。首采 2#煤层，矿井设计生产能力 240 万吨/年。目前开采 3~5#煤层，矿井设计生产能力 300 万吨/年，2021 年 9 月经国家矿山安全监察局综合司（矿安综函〔2021〕164 号）批复产能核增至 420 万吨/年。

矿井采用平硐开拓方式，中央分列式通风，属低瓦斯矿井，地质条件简单，水文地质类型中等，煤层自燃倾向性为 II 类，煤尘具有爆炸性，无冲击地压灾害。

（二）建设内容

塔山煤矿对采煤工作面设备及系统进行升级改造，通过异构融合技术自主研发了高效采放协同集中控制系统，搭建了塔山煤矿数据中心并建设了生产协同管理平台。其主要建设内容如下：

1. 基础设施

（1）主干网络

地面数据中心机房：配置了 2 台赫斯曼 MACH4002-48G+3X-L 3P 型三层网管万兆交换机，作为整个环网的核心交换机，两台核

心交换机启用 VRRP 协议实现冗余配置，为终端设备提供无缝隙的路由交换服务，两台交换机互为备份。

井下主干环网：配置了 5 台 MACH104-16TX-PoEP+2X-R-L3P 型隔爆兼本安型万兆交换机，与核心交换机通过形成万兆井下主环。

后备电源：考虑系统运行的稳定性，所有环网交换机后备电源选用矿用隔爆兼本安型锂离子蓄电池电源，能够在断电后 20ms 内自动切换至后备电池，切换过程不断电，断电后交换机持续工作 4 小时以上。

（2）数据处理设备

地面调度中心建设有模块化机房，各子系统数据上传至信息机房私有云平台、服务器或工控机，数据不出矿区。主要子系统服务器、工控机全部冗余配置，均配备千兆双网卡，数据库服务器采用主备机冗余配置。模块化机房内建设有超融合云平台。整合了应用所需的网络、存储、服务器、数据采集传输、配电单元等硬件资料和软件资源。

移动端数据处理设备：塔山煤矿目前采用 KT532R-S2 矿用本安智能手机（4G 手机），具有 MA 认证；具备无线通信功能；移动终端具备 NFC、RFID、蓝牙近场通信功能。

（3）应用平台软件

塔山煤矿建立了综合管控平台，高度集成生产过程自动化类系统、安全监测类系统、采掘生产类系统、辅助生产类系统等智能监控信息，满足矿井生产信息的智能感知、信息融合、数据挖掘和决策支持，实现矿井生产过程自动化、综合调度指挥、多系

统联动、经营辅助决策等多种功能。通过大数据分析、人工智能技术为矿山安全、生产方面出现的情况快速做出相应的调度和决策。

2. 智能采煤系统

(1) 采煤工作面的采煤机为西安煤矿机械有限公司生产的 MG650/1710-WD 型双滚筒采煤机，该采煤机经过智能化升级改造后，具备监测、控制、记忆截割、智能保护等功能。

(2) 支护系统，工作面配备液压支架共 111 架，其中 ZF15000/27.5/42D 型中间架 101 架，ZFG15000/27.5/42D 型过渡支架 3 架，ZFG18000/27.5/42D 型过渡支架 3 架，ZTZ26000/28/42 型端头支架 2 架，ZTZ13000/28/42 型端头支架 2 架。支架配套北京天地玛珂公司支架电液控制系统，支架电液控制系统在升级改造后具有. 电控系统设有声光报警，急停，闭锁及故障自诊断显示功能、支架邻架控制、单个支架自动移架功能、成组功能：以工作面的任何一个支架为操作架，向左或向右连续相邻的若干个支架为一组、执行支架的某一单动作或联合动作：成组自动、单架及成组“降、移、升”自动循环功能、控系统通过红外线检测系统实现跟机自动化、自动跟机喷雾功能、支架工况监测功能、自动补压功能、闭锁、紧急停止功能、控制系统信息功能、自动跟机采煤功能、具备手动放煤和按时序自动放煤功能、具有支架远程控制功能、数据传输等功能。

(3) 视频监控系统 工作面安装 44 台高清摄像头，4 台 AI 智能摄像头，实现对工作面采煤机及液压支架的高清可视化监控，视频系统可根据采煤机位置和支架动作情况自动切换摄像头，AI

视频系统可实现对工作面特定位置的人员入侵进行识别功能，发现入侵自动发出报警，并同步上报的地面集控中心。

（4）运输系统工作面三机均采用中煤张家口煤矿机械有限责任公司生产的装备，变频刮板输送机型号 SGZ1000/1400，转载机型号 SZZ1200/525，破碎机 PCM400。三机工况监测系统由张家口恒洋电器有限公司生产，具有如下功能：刮板机变频调试、三机监控、皮带机控制及电液遥控自移机尾等功能。

（5）人员精确定位监测及人员主动防护

煤矿井下设置多台 UWB 定位基站，每台基站安装 2 台读卡器，下井人员携带标识卡，能被系统精确定位并正确识别，可实现对工作面所有人员的精确定位，定位信息上传至集中控制系统并进行显示。

（6）集中控制系统

智能集中控制系统主要具备对井下各设备的的监测、控制、数据采集和存储、故障报警和安全保护等功能。

监测系统能对系统核心的运行参数进行监控，并显示工作面设备与监控中心各主控计算机的通信状态。

控制功能主要通过控制键盘实现对工作面采煤机、工作面液压支架、工作面运输三机、皮带机、供液系统、视频监控系统的远程控制。

系统采用动态实时扫描的方式对各个设备运行的参数进行定时存储。根据参数的性质设置存储的周期和频率。在井下集中控制系统主机内，可以针对工作面设备的全部运行参数进行实时存储。最大存储周期可达到 30 天。

工作面设备的数据采集采用两种方式，一种通过以太网的方式进行数据采集，一种通过工业总线的方式进行数据采集。

当综采工作面自动化控制系统出现故障时，各子系统不受综采自动化系统控制，以保证在检修和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。系统具有对各子系统故障诊断功能，实现故障类型显示、故障处理步骤提示、语音提示、管理等功能。

对系统的保护功能，主要设置了开机密码权限、管理登录、自动停机功能和模式选择功能和心跳检测功能，以对系统进行进一步的安全保护。

二、技术特点及先进性

塔山煤矿 30503 综放工作面在原有老旧设备基础之上以实现智能化、常态化、安全运行为目标。把自主创新为主，集成创新为辅作为项目实施原则。研制核心环节的感知及控制设备，建立多元控制精准模型，开发多参数自适应决策控制的集中系统，实现核心控制设备及系统自主研发。重点以设备精准感知、人员精准感知为基础，以集中控制系统为核心，实现对环境、设备、人员的有机融合，协同控制，解决各要素独立监控的难题，实现对 30503 工作面的安全、高效、智能、绿色开采。创新重点包括以下内容：

（一）设备改造方法

采煤机改造：新增采煤机端头站，将采煤机通讯信号接入到集中控制系统，可以从本地、远程对采煤机进行人工手动和自动化控制，并将采煤机监控系统的实时运行工况数据、位置定位、

姿态定位、生产工艺等信息与集中控制系统进行通讯，配合液压支架系统、集中控制系统、视频系统等进行整个工作面的智能化运行。

电液控改造：在超前支架上新增带有遥控操作功能的电液控制器，另升级电液控制系统自动化功能，电液控制系统能够通过软件设计实现自动跟机动作和以时间为基础的自动化放煤动作。在实现支架本地控制的基础上，能实现对液压支架的通讯控制，通过远程操作台，对支架进行远程操作。

三机设备改造：新增破碎机自动润滑装置，电液遥控自移机尾控制装置，变频调速智能控制软件，升级三机电液控系统。实现对刮板输送机、转载机、破碎机的运行数据、电机状态等进行监测，并可将监测数据进行上传。

供电设备改造：对移动变电站、组合开关、变频器进行升级，增加对集中控制系统的通讯功能，在原有供电设备的就地启动，就地监测的基础上，将控制及通讯信号引入到集中控制系统内，可以对整个供电系统的运行状态、运行参数、故障状态等进行检测，并可以根据需求对供电系统进行远程控制。

供液设备改造：升级泵站集控系统，增加对集中控制系统的通讯和控制功能，将原有供液系统引入到集中控制系统内，从集控室对供液系统进行检测、启停和自动控制。

顺槽皮带改造：新增矿用隔爆兼本安型监控分站及矿用本安型显示控制箱。矿用本安型显示控制箱用于对顺槽胶带机的控制，矿用隔爆兼本安型监控分站核心为西门子 1500PLC，满足对顺槽胶带机的控制，其包括华宁控制器信息采集、变频器控制、电机

冷却风扇的控制，张紧系统、制动盘闸的控制。

（二）集中控制系统

为解决井下各设备间数据采集、存储、交互等功能，同时为实现各子系统间的无缝连接，提高系统可靠性，通过建设工作面监控中心，将工作面采煤机、支架电液控制系统、工作面运输机控制系统、泵站控制系统及供电系统有机结合起来，实现高度集中自动化控制。集中控制系统数据采集模块与主机间均为定制化设计，数据采集模块为插拔式设计，易更换、易维护。集中控制系统与各个子系统均为模块化设计，单一系统故障不影响其他系统的正常工作。另外设备集成度高，将相关配套的附属设备统一集成到主机壳体内，减少安装和维护量。集中控制系统分别可以实现监测、控制、存储、数据采集、冗余热备、故障报警、安全保护功能，实现了各设备间协调、连续、高效、安全运行，达到工作面少人化的目的。

1. 井下集控中心：

集控系统作为集控系统的核心，安装在井下设备列车上，并将各子系统数据通过工业总线或以太网接入，实现设备的远程监控。

2. 地面远控中心：

地面远控中心作为综采工作面对外展示的窗口，实现的功能包括全部综采设备运行工况的监测和控制，同时辅以视频监控，辅助工作面智能开采。塔山地面远控中心采用 4 块 32:9 带鱼屏进行展示，展示效果良好。

（三）基于惯性导航系统的工作面调直技术

为解决井下采煤机定位与工作面调直等问题，提出了在采煤机上安装惯导系统进行采煤机的位姿检测和调整，根据采煤机的历史位置数据测量工作面刮板输送机的曲直度。通过在采煤机上连接加速度计及陀螺仪，对采煤机的旋转角度、速度及加速度矢量进行测量并实时加工处理、分析、计算，得出每一台支架在下一个动作环节的拉架行程值，并与电液控制系统联动，将拉架行程值发送给电液控制系统，电液控制系统按照该行程值对支架动作进行控制，进而实现对工作面的调直。

（四）智能化工作面精确定位技术

为解决工作面人员定位不精准问题及工作面无线信号传输不稳定问题。创新性地采用高密度基站布置方式，单一感知对接，实现对工作面人员的精准定位。引入 UWB 精准定位技术，在每个液压支架上安装多功能定位传感器(基站)，基站与读卡器一体化设计，通过工作面人员身上携带的定位识别卡对工作面人员位置信息进行扫描、定位，实现工作面人员与基站之间相互的距离精准定位，定位精度能够满足工作面安全保护需求。同时将人员定位的位置信息与集中控制系统进行交互，实现在集中控制系统内的人员位置显示，另外将该信息传输给电液控制系统，电液控制系统根据人员位置信息闭锁人员所在位置对应支架的动作，防止支架的动作对人员造成伤害，为人员安全保护提供保障。

基于 UWB 精确定位技术，通过在液压支架上安装定位基站，人员佩戴定位标识卡，实现人员与设备厘米级精确检测和识别，定位精度达 20cm。在设备动作过程中，人员到达设备危险距离之内，进行报警警示或危险闭锁保护。定位系统将人员定位信息发

送给液压支架控制系统，依据架号和距离，进行危险距离范围内支架的闭锁；采煤机、刮板输送机设备，基于相对设备的人员定位信息和身份标识，如采煤机司机等，根据一定的权限策略，进行报警警示或危险闭锁保护。

（五）工作面大数据分析技术及远程故障诊断技术

为对接对工作面设备的工况数据进行有效采集和分析，有效指导工作面智能化生产，同时也为对接设备异常运行的预警和预判，有效保障设备运行的稳定性和可靠性，通过构建大数据分析系统和远程故障诊断系统，分别自动统计工作面设备的开机率、智能化率、割煤刀数和产量等信息，解决人工每天进行反复计算等机械式工作，降低了工人的劳动强度。还可对接工作面生产效率进行分析，用生产数据辅助指导生产。同时在对采集数据的分析的基础上进行设备健康诊断。基于大数据技术，通过机器学习，对刮板输送机、采煤机设备的运行状态进行学习，形成设备正常状态指数，用于对接采集数据的标定分析。结合振动分析技术、设备温度异常~故障弹性指数等，对接设备采集数据与故障类型、发展趋势进行分析建模，形成设备故障模型库。基于状态指数和故障模型，对接采集数据进行智能分析，对接设备状态进行智能评估。当设备状态出现异常时，系统进行报警提示。

（六）工作面及顺槽 AI 识别系统

为实现井下工作面视频 AI 识别、预警及对讲、AI 护帮识别及防碰撞控制功能，在数字化、网络化视频监控的基础上通过研发高清云台视频系统，对接煤壁片帮状态、采煤机滚筒姿态与支架护帮板伸收状态、人员越界、大块煤、刮板机堵煤等场景进行监

测、识别、分析，并可将识别结果实施上报集控系统，由集控系统进行协调控制。

三、智能化建设成效

本项目开发的集中控制系统实现了对综放工作面的监测功能、控制功能、存储功能、工作面数据采集功能、故障报警功能和安全保护功能，实现在工作面顺槽监控中心对设备进行智能化控制，确保各设备间协调、连续、高效、安全运行，达到工作面少人化的目的，由原生产作业 17 人减少至 9 人；研制的综合管控平台实现了智能矿山企业中台的统一，包括业务中台、数据中台、技术中台。实现了运用自动化、标准化、数据化和信息化手段，使全矿相关组织单元的以精确、高效、协同和持续运行；该项目研发的精确定位及防碰撞安全保障技术系统，实现了对工作面人员的精确定位，定位精度达到 30cm，并实现与电液控制系统联动，有效改善了工作面人员的安全环境；通过建立惯性导航系统能够稳定传输相关数据，并绘制采煤机行走曲线，检测误差不大于 50mm；通过开发大数据分析系统及故障诊断系统，能够实现对工作面设备相关信息的统计、分析、诊断及故障预警功能。这为设备的健康运行提供了坚实保障；该项目研发的工作面直线度监测系统，实现了 300 米工作面推进方向上 5cm 的误差检测，通过集控系统与支架电液控制系统的深度融合，能有效的解决工作面直线检测不准、无法自动调整的现状。上述技术的突破为解决塔山煤矿老旧设备智能化升级提供了重要支撑。

案例 29 金辛达煤业高效薄煤层智能化装备应用

主要完成单位：山西煤炭运销集团金辛达煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西焦煤汾西矿业金辛达煤业位于临汾市尧都区枕头乡马家梁村，为 2009 年资源重组整合后新建矿井。于 2012 年 12 月开工建设，2016 年 10 月批复联合试运转，2017 年 12 月 18 日转为生产矿井。

矿井开拓方式为斜井开拓，布置有主斜井、副斜井、回风立井三个井筒。批准开采 2~11 号煤层，井田面积 11.0021k m²。矿井地质构造条件简单，水文地质类型为中等。低瓦斯矿井，矿井瓦斯绝对涌出量为 2.20m³/min，相对涌出量为 0.63m³/t；2 号、11 号（9+10+11）煤层属 II 级自燃煤层；煤尘均具有爆炸性。

2#煤层，属肥煤，煤层厚度平均 1.19m，结构简单，含 0~1 层夹矸，层位稳定。顶板岩性为砂岩，底板岩性为泥岩，属稳定大部可采煤层。

（二）建设内容

2#煤层综采工作面采用长壁后退式综合机械化采煤工艺，全部垮落法管理顶板。

205 智能化工作面设备主要具备以下主要功能：工作面设备实现“一键启停”集中控制、液压支架跟机自动化、采煤机记忆割煤、视频自动跟机、综采设备云监测，工作面自动调直等。

在正常生产过程中，通过液压支架自动跟机、采煤机记忆割

煤技术，结合设备姿态反馈、工作面视频监控，实现在顺槽集控中心对综采设备的远程控制（干预），最大程度减少工人操作，降低劳动强度。

（1）工作面设备“一键启停”

在顺槽集控仓和地面各设置一个“井下中控室”，设置1名操作人员，在自动化开采过程中通过视频、各类子系统收集运行数据巡视设备运行状态、设备工作姿态，实施远程干预控制，开启采煤新模式。操作台切换至“自动”模式下，按下“一键启停”按钮，工作面实现泵站、破碎机、转载机、刮板输送机、液压支架、采煤机等主要综采设备逆煤流一键启停。设备数据高速上传和控制信号实时下达，当生产过程出现特殊情况，例如工作面顶板发生变化或液压支架未能移架到位，影响工作面连续推进时，可及时进行人工远程干预。

（2）液压支架跟机自动化

根据开采工艺，将液压支架跟机自动化划分为液压支架中部跟机、割三角煤自动跟机、自动推溜三种配合动作，通过设置液压支架自动跟机流程与采煤机所到位置来决策每个液压支架的执行动作；端头端尾根据斜切进刀与割三角煤工艺来设定支架动作方式，从而达到整个工作面液压支架跟机自动化，实现工作面自动连续生产。

（3）采煤机记忆割煤

集控中心能够控制采煤机开启、停止记忆割煤功能，自动化开采过程中全部工艺段均采用记忆割煤，包括割三角煤、斜切进刀、扫浮煤、中间段工艺等实现综采工作面自动化控制开采，实

现与采煤机的双向通信，实现在集控中心和分控中心对采煤机的启停运行状态、运行方向、采高、速度、位置等数据进行实时远程监测。

（4）工作面视频监控技术

工作面每4台支架设置360°高清云台摄像机，实时跟踪采煤机，自动完成视频跟机推送等功能，为工作面可视化远程监控提供远程指导。

（5）综采设备云监测

205智能化综采工作面可完成综采设备云端存储、故障推送、实时查询、历史查询、多终端支持等功能，实现了移动互联。

（6）工作面自动调直系统功能

可实现工作面直线度、水平度的精确检测及控制，系统可与支架控制系统、采煤机控制系统实时通讯，并根据支架、采煤机控制所需要的数据，提供必要的实时、历史数据，用于支架、采煤机的自动化控制，系统对工作面直线度的控制精度要求达偏差 $<500\text{mm}$ ，系统可与综采自动化系统进行通讯，将工作面直线度状态上传给综采自动化系统，由集控系统完成工作面自动调直。

（7）其他已具备功能

1) 集中控制系统具备人员行进轨迹感知能力，可精确定位巡视人员位置，智能闭锁人员所处区域的设备，防止发生人员伤亡。

2) 工作面供液系统安装乳化液自动配液站，通过判断乳化液液箱液位，从而实现自动配液，保障工作面供液浓度达标。

3) 通过广播分站、井下工业环网系统实现井上、井下实时

语音通讯。

4) 随时检测工作面液压支架立柱压力，实现液压支架自动补液，保障工作面液压支架初撑力稳定。

5) 主供液系统安装供液过滤站、回液过滤站，液压支架配置单架反冲洗过滤器，通过设定时间或压差定期进行反冲洗，降低支架故障率。

6) 刮板机、转载机、破碎机、泵站安装在线监测系统，实现实时监测设备的运行工况，达到故障预警的目的。

二、技术特点及先进性

矿井智能化综采工作面智能化全套装备全部采用国内一线成熟品牌设备，智能化控制系统采用郑煤机成熟的标准型系统，具有应用基数大，系统成熟度高，故障率低的特点，主要装备明细如下：

205 智能化工作面装备配套明细表

设备名称	制造公司	数量	型号参数
刮板运输机	宁夏天地重型装备科技有限公司 (西北奔牛)	1 部	型号: SGZ800/1050 生产能力: 1200t/h 运输机长度: 260m 总装机功率: 低速 2 × 263kW 高速 2 × 525kW
转载机	宁夏天地重型装备科技有限公司 (西北奔牛)	1 部	型号: SZZ800/250 生产能力: 1800t/h 总装机功率: 高速 250kW 低速 125kW
破碎机	宁夏天地重型装备科技有限公司 (西北奔牛)	1 台	型号: PLM2000 通过能力: 2000t/h 总装机功率: 200kW

设备名称		制造公司	数量	型号参数
胶带输送机		哈尔滨和平煤矿机械制造有限公司	1部	型号：DSJ120/150/2*250 生产能力：1500t/h 皮带宽度：1200mm
乳化液泵		浙江中煤机械科技有限公司	2泵一箱	型号：BRW-630/31.5 额定压力：31.5MPa 额定流量：630L/min 电机功率：450kW
喷雾泵站		浙江中煤机械科技有限公司	2泵一箱	型号：BPW-400/16 公称压力：16MPa 额定流量：400L/min 电机功率：125kW
液压支架	中间架	郑州煤矿机械集团有限责任公司	169架	型号：ZY5200/12/28D
	过渡支架		4架	型号：ZYG6800/14/32D
	端头支架		2架	型号：ZYT9000/15/32D
	端头支架B		1架	型号：ZYT4000/17/32D
采煤机		上海创力	1台	型号：MG2×200/930-WD1 切割功率：2×200kW×2 牵引功率：2×55kW 油泵功率：20kW 滚筒直径：1500mm 滚筒截深：800mm 供电电压：3300V
电液控制系统		郑州煤机液压电控有限公司	1套	ZE07型(包括：控制器175台，电液换向阀175台、电磁阀驱动器175件、压力传感器175套，位移传感器175套，红外线传感器175个、姿态传感器525套，无线遥控10套)
自动控制系统		郑州煤机液压电控有限公司	1套	ZE07型(如惯性导航1套,视频监控1套照明系统1套顺槽集控系统1套地面集控系统1套等)
工作面多组合开关		长治贝克	2台	
泵站变频组合开关		华夏天信	1台	
工作面及皮带集中控制		天津华宁	1套	KTC101

三、智能化建设成效

（一）实现减人增效

根据我矿实际情况，原先工作面生产班最少需要 11 人综采工作面实现智能化后，生产班需要 7 人，生产班可减少 4 人。

金辛达煤业薄煤层智能化综采工作面的建设，通过地面或井下远程操控，工作面实现了无人跟机作业，真正把职工从危险作业环境解放了出来，做到了“少人则安、无人则安”。另外在减人、提效、设备开机率及煤质管理方面效果明显。

（二）降低劳动强度

采煤机智能自主割煤、液压支架自动跟机拉架和远程干预技术的应用，减少和降低了员工在受限空间作业的时间和强度，受粉尘及噪音的危害变小。

（三）通过信息化手段，提升管理效率

通过智能化工作面的建设及信息化手段的应用，实现了综采工作面设备数据云端存储、故障推送、历史查询、多终端支持、访问控制等功能，通过数据分析，便于设备故障的诊断。地面人员通过手机 APP、视频联络等方式，能够实时了解井下生产及设备运行状况，实现信息化智能管理，提升了管理效率。

（四）薄煤层智能化开采效率效益显著

1. 综采队生产人员由原来的 70 人，缩减至现在的 50 人，每月按人均工资 1.5 万元计算，一年可节约 360 万元。

2. 提升安全生产效率，得益于智能拉架的应用，采机提速由 3m/min 提升到 10m/min，效率提升 2 倍，采煤机截深由 600 提升到 800mm，效率提升 1.3 倍，工作面切眼长度由 180m 延长到 260m

效率提升 1.4 倍，综采薄煤层智能化开采效率整体提升 3.6 倍。

案例 30 寨崖底煤业薄煤层自动化远程控制开采关键技术的应用

主要完成单位：山西柳林寨崖底煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西柳林寨崖底煤业有限公司隶属于山西福山资源集团有限公司，行政区域隶属柳林县陈家湾镇管辖，为安全生产标准化二级矿井，属于 B 类监管煤矿。矿井井田面积 13.9071km²，核定生产能力为 175 万吨/年。属高瓦斯矿井，矿井水文地质类型中等无冲击地压危险。可采煤层为 3#~9#，现采 4#、8#、9#煤层。

4 号煤层厚度 0~1.69m，为薄煤层，4 号煤层顶板多为泥岩，局部为中细粒砂岩，4 号煤层底板多为泥岩；

8 号煤层厚度 1.2~3.6m，直接顶板为 L1 灰岩，有时含一层伪顶、底板为泥岩、炭质泥岩。容重为 1.43t/m³，煤层大致走向 N315° 左右，属结构简单局部可采薄煤层。

9#煤层厚度为 4.20~5.82m，为厚煤层，9 号煤层顶板为泥岩，9 号煤层底板为泥岩。

（二）建设内容

薄煤层综采工作面低矮、作业空间狭小，设备之间配套难度大，因工作面地质条件的复杂，使设备故障率高，遇复杂地质构造时尤为突出，薄的煤层储量被很多矿山企业认为可遇而不可求，放弃了薄煤层开采，趋于当时状况，为了回收大量的不可再生煤

炭资源，有效延长矿井服务年限，我矿决定在 23 盘区东采区中部布置了 3812 薄煤层远程控制智能化综采工作面，通过不断的实践与探索，突破了采煤机记忆截割技术、液压支架自动跟机技术、工作面远程视频监控、远程控制系统以及故障诊断等关键技术，实现了工作面无人操作远程控制。

1. 液压支架工作面自动跟机与远程干预技术

液压支架实现自动“降、移、升”、自动推溜、端头斜切进刀等项目的过程中，通过视频监控系统、支架检测系统等，查缺补漏，对未执行命令的液压支架，地面远程控制中心操作台人员进行远程干预，将支架电液控制系统的数据与工作面视频相结合，保证了液压支架的自动跟机的连续有效性，以满足复杂环境下液压支架的自动化控制。

2. 采煤机在工作面记忆截割与远程干预技术

综采工作面是现代化煤矿生产的主要环节，是煤矿生产中设备最多、环境最恶劣、工作最复杂的系统，由采煤机、液压支架、刮板输送机、转载机、破碎机、胶带输送机、组合开关、泵站及控制系统等多达十几种、近 3 百台设备组成，特别是在自动化无人综采过程中，采煤机记忆截割技术是无人工作面的关键所在，记忆截割功能能否正常稳定运行，是决定工作面无人采煤能否实现的先决条件，可以减少视频辅助远程干预频率，提高采煤机割煤速度，增加采煤效率，特别是在薄煤层开采中发挥无人作业的优势，更是对降低矿工劳动强度，保障矿工生命安全的提升有很大的促进。在确定工作面开采方式后，必须确定采煤机技术参数，全自动采煤机包含了诸多因素。

3. 扁平电缆在薄煤层自动化工作面的应用技术

薄煤层工作面采高较低，要求采煤机机身矮，且要有足够的功率，机身尽可能短，以适应煤层的起伏变化，要有足够的过煤和过机空间高度，故需要使用扁平电缆来达到这一要求。

安装在可调高拖缆装置的采煤机运行过程中，遇到因采煤机来回反复行走，发生电缆夹堆叠的情况；远程降低采煤机行走速度，使拖缆装置可以自行进行调高，有效避免了电缆夹的憋卡，避免了挤伤水管、电缆等事故的发生；同时节省人力，无需专人对电缆夹板进行看护与拖曳，提高生产效率。

4. 惯导自动调直系统的应用技术

通过安装在采煤机上惯性导航系统测量出采煤机的运行轨迹，也就是工作面轮廓曲线，然后无线方式将数据发送到位于工作面的 3 个无线基站上，无线基站再通过光纤将数据转发到顺槽集控中心，集控中心根据工作面轮廓曲线计算每一个支架的移架和推溜行程，液压支架根据该行程值进行移架推溜，最终实现工作面自动找直。

5. 综采工作面供液清洁度保障技术

工作面在回采过程中，传统的集成供液系统存在泵站输出压力不稳定、自动配比效率低、沿程阻力大导致支架动作缓慢、支护质量低、乳化液浪费等问题，如何实现低煤炭成本提高经济效益，高产高效，促进企业发展，成为每个煤矿企业急需解决的难题。根据薄煤层远程控制综采工作面布置一套智能集成供液系统。该系统是集井下综合供水净化站、乳化液自动配比站、乳化液泵站、高压反冲洗过滤站、回液过滤站于一体的自动化设备，同时

也是一套完整的综采工作面供液系统解决方案。

6. 转载机、皮带自移机尾端头第一架联动的应用技术

为保证工作面自动化生产工序内，在不间断生产割煤的前提下，通过视频监控辅助，远程控制设备来实现移动，使用转载机自移与工作面推进联动系统，割一刀煤，拉移转载机一次，满足自动化连续生产需求。

二、技术特点及先进性

（一）通过采煤机推移行程数据、采煤机自身编码器等其他数据同时进行校准，通过支架精准推移，实现了工作面自动调直的目的。

（二）通过安装在采煤机上的惯导和支架上的倾角传感器，获取工作面起伏线、工作面弯曲度曲线等详细数据规划开采路径，实现了差异化记忆截割与初级规划开采功能。

（三）通过井下工作面高清云台摄像机视频自动跟机、移动目标检测等功能与地面视频监控配置相结合，实现了生产过程中工作面视频“局部全景”跟机功能。

（四）通过对采煤机控制系统和支架电液控制系统深度融合，实现了自动化工作面控制系统“多网合一”的功能。

（五）实现了对设备及生产过程中的数据采集、分析与决策等工作面大数据分析平台。

通过采用“成套化装备与一体化控制系统”解决方案，升级支架控制器和采煤机电控系统两大核心装备，并将支架控制系统、采煤机控制系统与地面视频监控系统深度融合为地面自动化集控系统，真正实现生产班“工作面无作业，地面远程开采”的

最终目标，提高开采效率，降低工人劳动强度，提高工作面安全作业水平，目前达到自动化远程控制先进水平。

三、智能化建设成效

（一）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。

（二）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，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。

（三）实现了减人增效。智能化综采项目的实施，检修班控制 10 人以下，生产班 6 人以下。初步实现了智能开采、减人增效、安全、经济的建设目标。

案例 31 双柳煤矿智能化综采工作面探索与应用

主要完成单位：山西汾西矿业（集团）有限责任公司双柳煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

双柳煤矿位于山西省柳林县西北部的孟门镇，行政区划属吕梁市柳林县管辖，隶属于山西汾西矿业（集团）有限责任公司，为国有独资。批准开采 3#、4#、8#、9#煤层。矿井核定生产能力 300 万吨/年，矿井证照齐全，能力匹配，各大系统运行正常。

双柳煤矿为煤与瓦斯突出矿井，各煤层煤尘均有爆炸性。煤层自燃倾向性为：(3+4)#煤层为 III 类不易自燃煤层，8#、9#煤层为 II 类自燃煤层。

在煤层性质方面，4(3+4)号煤层煤层平均厚 2.55~4.33m，直接顶板一般为黑色薄层砂质泥岩或泥岩，直接底板以泥岩、砂质泥岩为主；9(8+9)号煤层平均厚 0.28~4.33m，8 号煤直接顶板为 L1 石灰岩，直接底板（9 号煤直接顶板）主要为砂质泥岩、泥岩、炭质泥岩。

矿井开拓方式采用斜井-立井混合开拓，采区开采顺序为前进式，工作面采用走向长壁后退式综合机械化采煤法，采掘比为 2:6。

（二）工作面概况

1. 煤层赋存

33(4)17 工作面所采煤层为山西组下段顶部 4(3+4)#煤层，距 2#煤层顶板层间距 19.8m，厚度约 0.4m。该区内煤层稳定，煤

层厚度 3.35~4.1m，平均厚度 3.85m(含夹矸层)，结构复杂，属半亮型煤，含 3 层厚 0.1m 左右的深灰~黑色碳质泥岩、泥岩夹矸层。直接顶为砂质泥岩，深灰色，平坦及参差断口，含大量植物茎叶化石；直接底为砂质泥岩，灰黑色，平坦断口，平行层理，含植物茎叶化石。该工作面总体位于一单斜构造之上，地层东高西低，倾角 0~9°，平均 4°。

2. 工作面储量

走向长 (m)	倾向长 (m)	面积 (m ²)	煤厚 (m)	容重 (t/m ³)	工业储量 (t)	回采率 (%)	可采储量 (t)
337.5	119.1	354514	3.55	1.47	1850031	93	1720529
1605.2	195.8						

3. 煤层顶、底板情况

煤层 顶 底 板 情 况	顶底板名称	岩石名称	厚度 (m)	岩性特征
	老顶	中粒砂岩	3.60	浅灰色中粒砂岩，石英为主矿物，钙质胶结、坚硬、裂隙发育。
	直接顶	砂质泥岩	2.97	灰黑色砂质泥岩，含云母碎片，节理裂隙发育，可见菱铁质结核。
	伪顶	~	~	~
	直接底	泥岩	3.03	灰黑色泥岩，薄层状，具滑面，裂隙发育，含植物化石。
	老底	细粒砂岩	3.00	灰褐色细粒砂岩，脉状层理发育，有机质及煤屑含量高。

4. 工作面参数

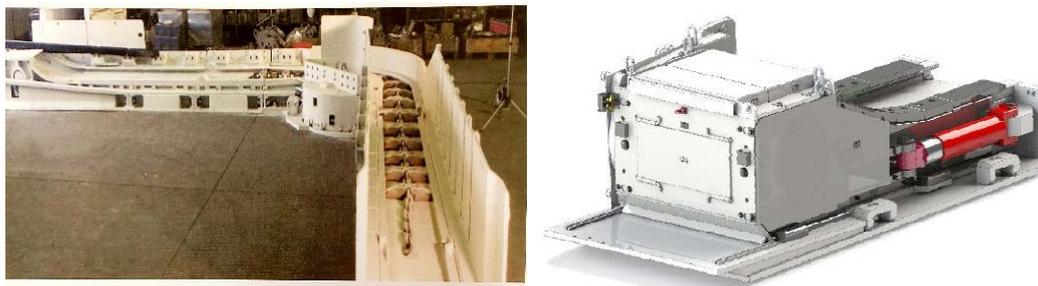
巷道名称	长度	毛高	净高	毛宽	净宽
材巷	337.5/1930	3.8	3.7	4.6	4.4
运巷	2258	3.8	3.7	5.4	5.2
切割巷	119.1/195.8	3.7	3.5	7.8	7.6

(三) 建设内容

2019年，随着国家“机械化换人、自动化减人”科技强安理

念的不断提出及深入，矿井秉承高产高效目标，不断以综采设备为基础，探索自动化、智能化的建设路径，在两级集团公司的大力支持，协作单位的积极配合下，33（4）18 工作面作为示范点，成功建设为智能化回采工作面，同时该技术继续沿用至 33（4）17 工作面，不断实现着矿井生产的安全与高效。

在智能化回采建设期间，矿井从工作面通讯系统、液压支架自动控制、采煤机自动控制、综采设备协同运行方式和高效的开采工艺等多个方面进行综合性研究，设计综采工作面自动化开采解决方案。项目采取关键技术重点攻关创新、先进成熟技术集成整合相结合的方式进行研究，重点解决在复杂地质条件下工作面快速连续推进难题。



建设思路：通过开发综采工作面自动化成套装备，提高单产单进水平，真正实现减人提效和安全高效发展。项目重点研究液压支架电液自动化联动控制技术、三直两平监控技术；研究采煤机自动化协调控制技术；研究采煤机信息无线传输技术、研究负荷中心的控制与保护技术；研究泵站自动化控制系统；研究工作面视频监控系统；研究工转破一体机以及胶带输送机的联动控制系统；研究分段采煤自动化采煤工艺；开发双柳矿综采工作面集控系统设备，实现对工作面采煤机、液压支架、工转破一体机、皮带机、泵站系统、电力负荷系统等核心装备的自动控制，最终

达到综采工作面自动化采煤的目标，进而提高采煤自动化水平。

总体方案设计：综采面自动化集中控制系统是综采工作面自动化采煤的核心，是这智能综采系统的大脑，是操作人员的人机对话窗口，通过建立统一的数据传输接口和通讯规约，实现与各个子系统的通讯，通讯网络将各个相关设备联系在一起，满足生产工艺监控要求。

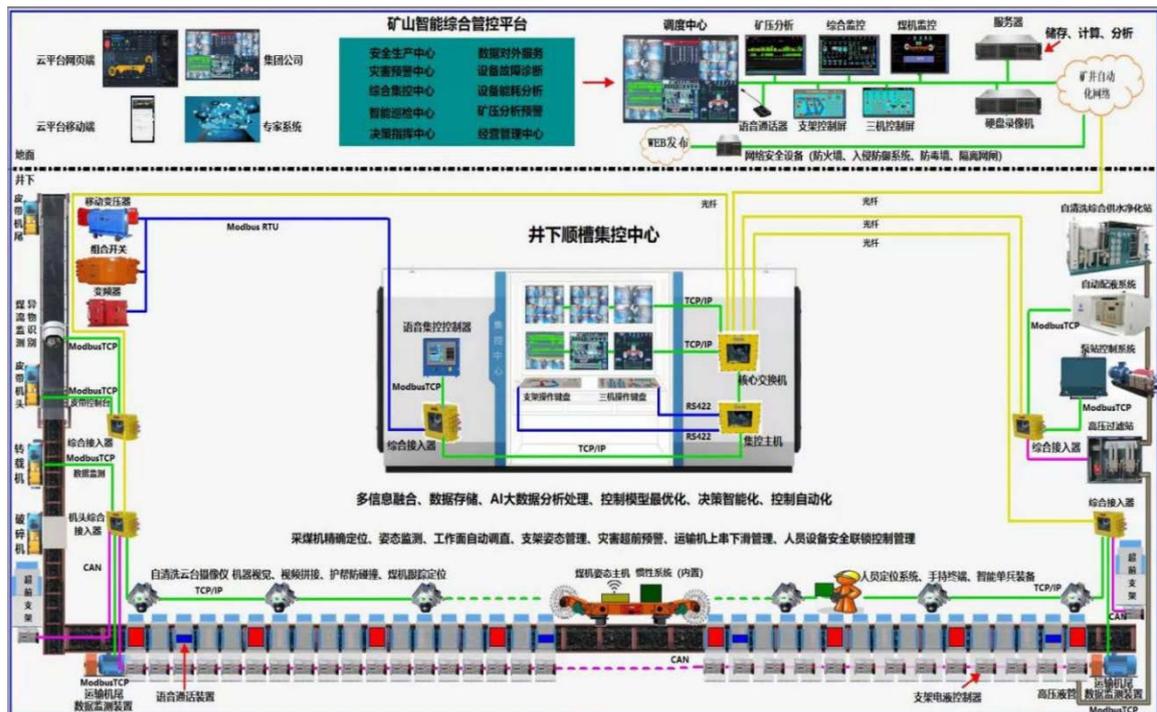


图 1 智能化系统架构图

综采工作面集中控制系统负责将“顺槽集中控制操作中心”、“综采工作面自动化集中控制系统”、“采煤机自动化控制软件系统”、“液压支架电液控软件系统”、“工转破一体机和皮带输送机集中控制保护系统”、“综采工作面供电系统集中监测控制系统”、“综采工作面泵站自动控制系统”、“综采工作面视频监控”、“工作面三直两平监控系统”、“端头设备定位

系统”、“支架中心距监控系统”进行整合并协调联动控制。集中控制系统将实时采煤工艺分解成多个子命令系，并将这些子命令系分配给各个子系统，通过对各个子系统协同调度，实现各个子系统的协调联动运行。集中控制系统通过与各个子系统的实时通讯，将各子系统的工作状态、运行参数、指令执行统一汇总处理，并进行逻辑运算，通过科学可靠的控制策略实现对各子系统的协调自动化控制，从而实现整个综采工作面的自动化控制。



图2 集中控制系统主要界面

工作面集中控制系统通过构建由井下顺槽控制中心、综采工作面有线/无线全覆盖网络、设备远程控制与语音通讯系统、工作面视频监控系统、数据分析与诊断预警、工作面设备姿态检测系统、工转破一体机、泵站以及胶带输送机的连锁控制等组成的自动控制平台，实现工作面液压支架、大型采煤机、工转破一体机的协调控制，完成综采工作面生产过程自动化控制功能，提高生产效率；并对主要生产设备工况实时在线监测、及时发现故障隐患，提高设备开机率；对工作面的相关信息分类整理，通过矿

井以太环网将数据上传至地面调度中心，通过地面调度中心将数据融合到基于物联网技术的综采设备自动化管理系统，实现数据共享与远程管理。

33（4）17智能化综采工作面主要设备配套情况

序号	名称	型号	数量	生产厂家	备注
1	中间液压支架	ZZ7600/21/44D	127	沈阳天安矿山机械科技有限公司	电液控支架
2	特殊过渡支架	ZZG7600/21/44D	2	沈阳天安矿山机械科技有限公司	电液控制、机头、机尾各安装1架
3	机尾过渡支架	ZZG7600/21/44D	4	沈阳天安矿山机械科技有限公司	电液控制、机尾过渡架4架
4	机头端头破顶支架	ZT3200/20/38J	2	沈阳天安矿山机械科技有限公司	电液控制、带破顶功能
5	机尾端头破顶支架	ZT3200/20/38J	1	沈阳天安矿山机械科技有限公司	电液控制、带破顶功能
6	滑移式超前支架	ZQL2X1960/28/42	8	沈阳天安矿山机械科技有限公司	材巷和运巷超前段各安装4组
7	工转破一体机	S(GZP)D800/1050	1	忻州通用机械制造有限公司	工作面长201米、转载段长42米，配套破碎配套变频开关
8	采煤机	MG400/920~WD	1	上海创力生产	智能化采煤机，带记忆割煤功能
9	高端乳化液泵站	BRW500/31.5	1	浙江中煤矿业有限公司	采用三泵两箱结构，乳化泵采用陶瓷柱塞、变频控制、配套变频
10	皮带运输机	SJJ1200/2*315	1部	汾西矿业（集团）公司设备修造厂	采用永磁电机、直联驱动、变频控制，配套变频开关

二、技术特点及先进性

（一）实现技术目标

1. 实现在双柳矿工作面的自动化生产，减少工作面区域工作人员，实现安全、高产高效采煤。

2. 实现在顺槽监控中心对综采工作面采煤机、液压支架、工转破一体机、皮带运输机、分级破碎机、泵站系统、供配电系统

的工作状态远程监测监控、远程控制、故障警告、故障记录及“一键”启停。

3. 实现采煤机记忆截割采煤，液压支架自动跟机作业；实现工作面采煤机、液压支架、工转破一体机、供配电系统、泵站系统的联动闭锁控制。

4. 实现自动化采煤的常态化生产，切实改善劳动环境、降低劳动强度、减员增效，增强安全性的前提下提升生产效率。

（二）先进理念的践行

项目的研究实施，为综采提供新型的自动化生产组织方式，提供一个整套的工作面无人化自动装备。不仅能大幅削减人工与设备维护成本，提高生产效率，从而达到控制综合成本，“减人提效、节能降耗”，实现煤矿生产的集约化、自动化与信息化的目的，主要表现在以下两点效果：

一是将工作面多名工人从操作工变成巡检工，由设备的自动化替代人工劳动，大大降低了工人的劳动强度；二是采用智能化手段模拟人工操作习惯，提高大采高工作面生产效率。常态化生产过程实现以采煤机记忆割煤为主，人工就地干预为辅；以液压支架跟随采煤机自动跟机动作为主，人工就地干预为辅；以综采运输设备集中自动化控制为主，顺槽指挥为辅；以综采设备数据监测为主，视频监控为辅；即“地面监测、顺槽指挥、就地干预”的开采理念，生产过程中做到少人化生产的目的。

三、智能化建设成效

（一）减人方面

33（4）17 工作面建成智能化综采工作面，在回采过程中运

行较为可靠，提高现场安全作业环境，同时切实实现减人提效，将原综采面单班人数 18 人降至目前单班人数 12 人。

（二）功能实现方面

1. 集控、视频监控系统：“一键启停”功能、单设备启停以及对各设备(采煤机、液压支架、运输设备、泵站系统)进行远程控制 and 干预功能；采煤机、工转破一体机机头、机尾、转载点视频实时监视及跟机视频功能；对采煤机、电液控制系统、工转破一体机、皮带运输机、泵站系统、供电系统以及视频系统的相互自动联锁控制等功能稳定。



图 3 工作面视频监控

2. 采煤机控制系统：载荷联动、瓦斯联动功能、远程控制及数据监测功能。

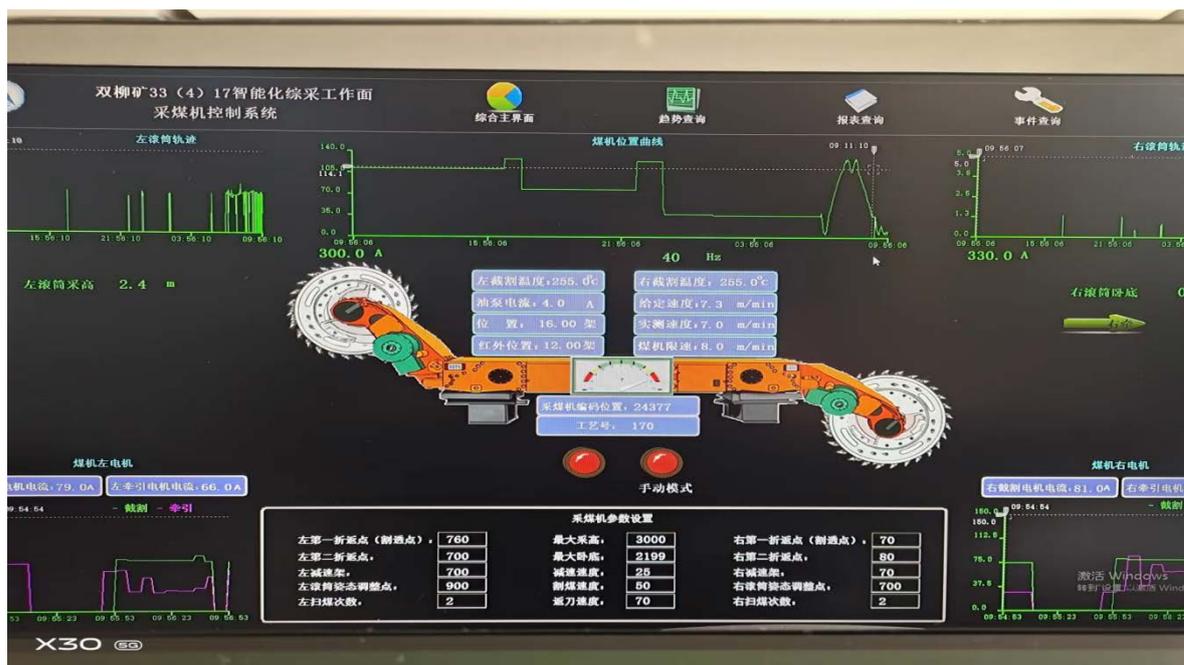


图4 集控软件（采煤机）

3. 支架电液控控制系统：单架（成组）操控功能、上位机界面显示立柱工作压力、推移行程、采煤机位置方向等参数功能。其中，支架自动补液功能为电液控控制系统子功能，未配置专用设备，通过传感器采集数据，监测支架初撑力，当低于设定值25.2MPa时自动补压，设置补压次数3次，每次补压时间5s。在该功能投运后，可很好保护顶板，提高顶板管理质量，该功能整体使用良好，可保持支架初撑力合格率达95%，除遇软岩顶板时该功能投退，其余该功能一直投运。

4. 工作介质管理系统：自动反冲洗、智能配液，运巷超前支护、皮带机尾及设备列车的跟机挪移、遥控运行等功能。

案例 32 毛则渠煤矿智能化综放工作面探索与应用

主要完成单位：山西乡宁焦煤集团毛则渠煤炭有限责任公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西乡宁焦煤集团毛则渠煤炭有限公司井田位于山西省乡宁县西南边缘，行政区划属西坡镇管辖，隶属于山西乡宁焦煤集团有限责任公司，为乡宁县地方国有独资企业。矿井“六长”、管理人员及特种作业人员配备齐全，证照齐全有效。

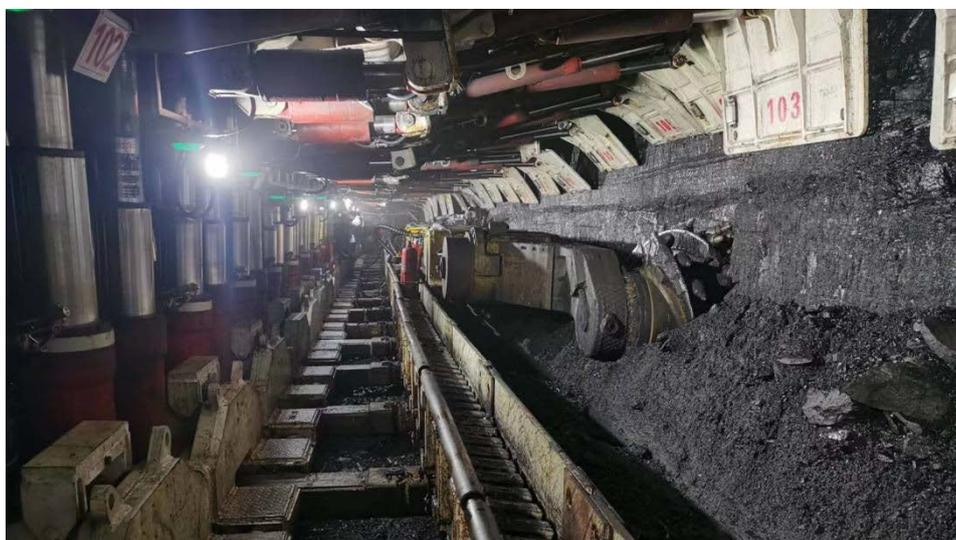
矿井核定生产能力 90 万吨/年，井田面积 8.1342 平方公里，矿井保有储量 7364.4 万吨，可采储量 3704.5 万吨，批准开采 2-12 号煤层，煤尘自燃倾向性等级为 II 级，煤尘具有爆炸性，属低瓦斯矿井，水文地质类型为中等。采用斜井开拓，中央分列式通风，双回路供电，主扇工作方式为抽出式。

211 综放工作面开采 2#煤层，顺槽巷道长度 1440m，工作面切眼长度 185m，工作面倾斜度： 3° - 5° ，煤层平均厚度 5.4m。采用综采放顶煤采煤法，采放比为 1:1.6。

（二）建设内容

在智能化综放工作面建设进程中，公司积极响应“机械化换人、自动化减人、智能化少人”的思路，从“智能化、信息化”两个重点出发，大力提高装备水平，推广应用新技术、新装备、新工艺，优化生产系统和劳动组织，不断依靠科技创新逐步实现企业减人提效。在集团公司的大力支持，协作单位的积极配合下，矿井将 211 综放工作面作为智能化建设示范点，并达到预期目标。

项目于2022年11月18日正式开工建设，2023年4月5日联合试运转完成，实现了综放工作面设备信息实时采集显示存储、工作面“远程控制、一键启停”、采煤机记忆截割、支架自动跟机移架、工作面自动调直、视频系统自动跟机切换等功能，形成了工作面“自动控制为主、人工干预为辅”的生产模式，为最终实现工作面智能化、少人化开采筑牢根基。



1、割煤系统：升级改造 MG300/730-WD 交流电牵引采煤机，实现本地操作、遥控操作和远程控制。该系统主要由记忆截割系统、远程监控控制及显示系统等组成。装配摇臂摆角传感器、行走箱编码器、温度油位传感器、遥控发射器等，利用采煤机监控

平台接入到综放智能化集中控制平台，实现采煤机运行状态采集、自主定位、远程控制、姿态控制、智能调速、记忆割煤等功能，并实现与瓦斯监控系统联动控制。通过原有系统传感器及新加装液压压力、总支水路压力及流量传感器，来构建“采煤机传感网络”，实现对采煤机摇臂电机、牵引传动箱、液压、水路系统多部件实时监测及采煤机的实时故障诊断与预警，实现采煤机自动化控制。

2、支护系统：由 ZF6100/14/28D 型液压支架和 ZFG6600/17/30D 型过渡支架、ZTZ9375/16/30D 型端头支架和 ZCZ8000/16/30D 型超前支架以及 ZDYZ 网络型液压支架电液控制系统等组成。该系统集嵌入式技术、工业以太网技术、控制技术和液压技术于一体，采用分布式控制系统架构和实时以太网通讯技术，实现液压支架邻/隔架控制、视距遥控、远方控制、单架/成组自动控制，实现了支架伸缩高度、压力、倾角等支护状态监测，护帮板收到位状态监测，跟随采煤机在全工作面范围自动完成支架伸收护帮、移架、推溜、喷雾除尘等动作，并具备自动调直、人工辅助放煤、自动补液、矿压监测及来压预警、支架全姿态监测与预警、数据集成分析及信息发布等功能。

3、运输系统：主要由 SGZ764/630 型刮板输送机、SZZ-800/315 型转载机、PLM-2000 型破碎机、DSJ100/80/2×200 (B) 型胶带输送机、运输系统监测监控综合系统、煤流监测系统、转载机自移机尾电液控制系统、皮带自移机尾电液控制系统等构成，配备齐全各类保护装置，综放智能化集中控制平台可对电机电流、温度、启停、速度、跑偏、堆煤、撕裂、烟雾、语音闭锁等状态

信息进行实时监测。刮板输送机和转载机采用智能变频调速控制，与采煤机进行智能联动，实现了运输三机和皮带系统远程控制、逻辑控制等功能。



4、综合保障系统：

1) 工作面顺槽配备了集控中心进行远程集中控制，主要由计算机、显示器、操作台、千兆以太环网交换机、后备电源等硬件，以及综放智能化集中控制平台、视频监控平台、数据分析平台、工艺管控平台等软件组成。地面调度指挥中心配备一套远程智能控制系统，实现了综放工作面设备集中控制与管理。

2) 工作面集中供液系统采用远程供液方式，采用“两台乳化液泵+两台喷雾泵”。实现出口压力、浓度、流量、油温、油位等数据采集、在线监测和智能控制功能；全自动反渗透水处理设备、全自动反冲洗高压过滤站、回液过滤站、支架反冲洗过滤器，保障工作面设备用水用液清洁度。

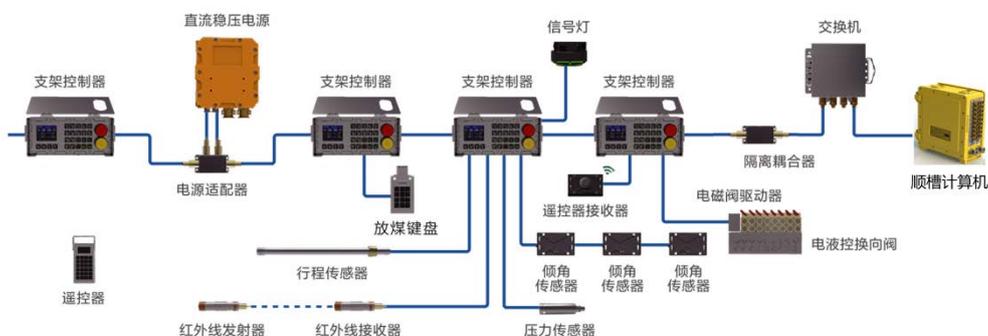
3) 建设了工作面千兆网络、视频监控、照明系统，实现了工作面和重点区域的高清视频监控覆盖。

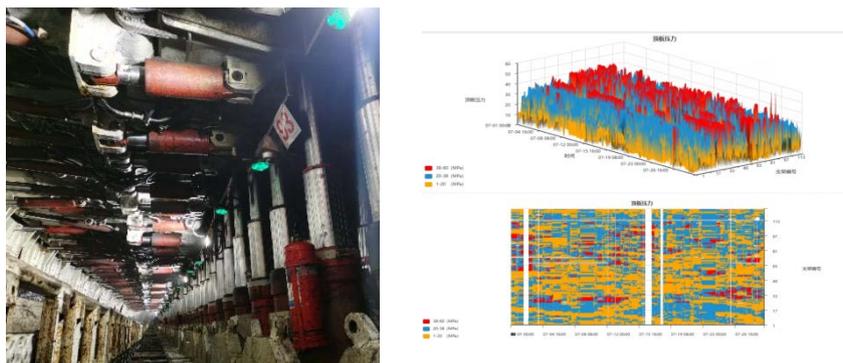


二、技术特点及先进性

1、网络型支架电液控制系统

选用行业内先进的网络型支架电液控制系统，具有良好的实时性和兼容性。控制器、驱动器、传感器的防护等级为 IP68，满足工作面恶劣工况环境使用要求。遥控器为全功能遥控器，集成放顶煤功能，不再配置放煤键盘。LED 信号灯集成动作指示、遥控接收、顶梁倾角功能，减少顶梁下方设备布置数量。集成工作面矿压分析功能，利用采集的每架支架立柱下腔压力，并结合支架动作情况，根据算法换算成支架初撑力、末阻力、工作阻力，自动生产矿压云图，为判断顶板来压周期提供数据支撑。





2、基于 AI 视觉的煤流量监测

配置煤流深度摄像仪，采用 AI 视觉技术进行转载机和皮带机上的煤流量监测。通过线型激光扫描转载机或皮带表面，高速摄像仪采集图像，采用边缘检测法、阈值分割法等多种算法对图像进行识别处理，结合皮带的宽度，计算转载机及皮带上煤的横截面积，再根据转载机或皮带的运行速度和运行时间以及密度，通过积分算法计算出煤量。



3、人工辅助放煤控制

利用遥控器实现视距范围内的放煤遥控操作，提升放煤作业的安全性和便利性。并在顺槽集控中心配置有综采工艺管控平台，具备放顶煤工艺参数的配置与调整功能，包含放煤方式、放煤轮次、放煤窗口、放煤步距的配置与调整，具备参数可调的半自动放煤功能。



4、后备电源保障数据安全

在顺槽集控中心配置有矿用隔爆型锂离子蓄电池电源，容量 3072Wh，为顺槽集控中心提供后备电源，在集控中心断电后，可为集控中心继续提供 2 小时的持续供电，保障设备及数据的安全。

三、智能化建设成效

1、集控系统：顺槽集控中心及地面调度中心对工作面设备的“一键启停”功能，单设备启停以及对各设备(采煤机、液压支架、运输设备、泵站系统)进行远程控制和干预功能；对采煤机、液压支架、运输三机、皮带运输机、泵站系统、的相互自动联锁控制等功能。

2、视频监控系统：工作面视频跟机，工作面及煤流转载点重点区域视频实时监视功能；录像保存 1 个月以上。

3、采煤机控制系统：载荷联动、瓦斯联动功能、远程控制及数据监测功能；

4、支架电液控制系统：支架状态感知（包含立柱压力、推移行程、支架姿态）；邻架/隔架操作、视距遥控操作、远程操作；

单架（成组）控制，自动跟机控制；自动补液；人工辅助放煤等。

5、运输控制系统：运输机沿线语音对讲通话；煤流联动；转载机迈步自移、皮带自移机尾电液控制挪移、遥控运行等功能。

第四章 全矿井智能化建设

案例 33 塔山煤矿 5G+智慧矿山

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

（一）矿井概况

同煤大唐塔山煤矿有限公司塔山煤矿于 2003 年 2 月开工建设，2006 年 7 月 19 日成功试生产，2008 年 12 月 28 日正式通过国家总体验收，2009 年达到设计生产能力，2019 年根据国家培育和释放优质产能要求，矿井生产能力由 1500 万吨/年核增至 2500 万吨/年。批准开采山 4#、2#、5（3~5）#煤层，现开采山 5（3~5）#煤层。截至 2022 年底，矿井现保有资源量 336095.86 万吨，累计动用资源量 34471.20 万吨，矿井剩余可采储量约 15.20 亿吨，剩余服务年限 40.5 年。矿井开拓方式为平硐开拓，平均采深 500 米，煤层倾角 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ ，地质构造（褶曲、断层、陷落柱等）影响中等，围岩较稳定，采煤方法为走向长臂后退式综合机械化低位放顶煤开采，工作面长度 241~281 米，煤层厚度 1.85~16.81 米，掘进工艺为综合机械化机掘，采掘比为 1:2，煤层自燃倾向性为 II 类自燃，瓦斯等级为高瓦斯矿井，矿井水文地质条件中等，无冲击地压，有煤尘爆炸危险性，无热害。

（二）建设内容

1. 信息基础设施

工作面设备列车5G基站



巷道5G基站



二盘区2208配电点IPRAN、BBU、RHUB设备



8234综采工作面支架5G基站及其天线



图 1 井下环网交换机与 5G 布置

5G 网络系统

塔山煤矿在万兆环网的基础上，全面建设地面以及井下 5G 无线网络，率先使用多模基站，实现 4G、5G、NB-IoT 无线网络全覆盖，延时低、智能控制、全面感知，奠定了智能化建设通信网络基础。同时，矿山云图智能决策平台，集成安全生产各大系

统，实时构建云图，数据融通，系统分析，智能决策，实现了安全生产全过程的直观、透明化管控。

2. 地质保障系统

目前塔山已具备较完善的地质探测技术与装备，探测精度、广度初步满足智能化煤矿生产需求，智能钻探设备已完成工业试验，地质保障系统也在建设中，该系统充分利用各种地质参数，提高探测精度和综合解释能力。同时，塔山矿已实现地质数据、工程数据的数字化存储，与集团公司平台交互共享，对主要含水层的水文变化可以进行实时动态监测，建有地质测量信息数据库，能够满足相关业务系统地理信息需求。

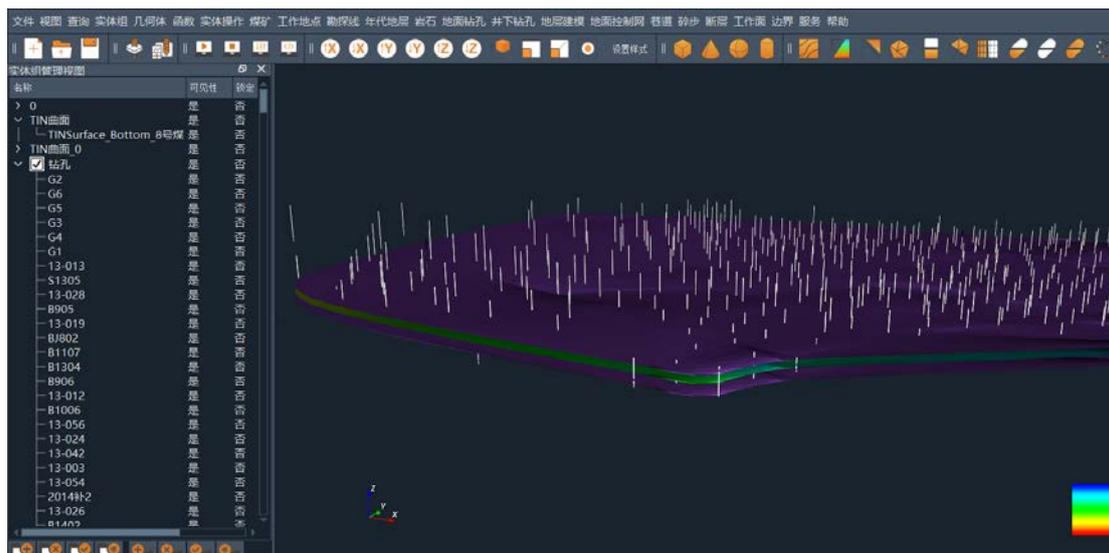


图 2 三维地质保障系统

3. 掘进系统



图 3 智能化掘进系统

塔山矿智能掘进工作面首次采用三维激光扫描仪及惯性导航技术主动检测掘进机实时位姿信息，实时采集工作面视频及掘进机工作状态，数据通过 5G 网络传至井下操作室及地面控制平台，实现远端操作设备、定义断面形状。设备根据当前位置动态调整掘进机各项动作完成断面自动精确成型。巷道成型过程中具备作业区域防碰撞预警、人员闯入预警、掘进面超越界预警等多项安全防护功能，保障安全掘进。

4. 综采系统

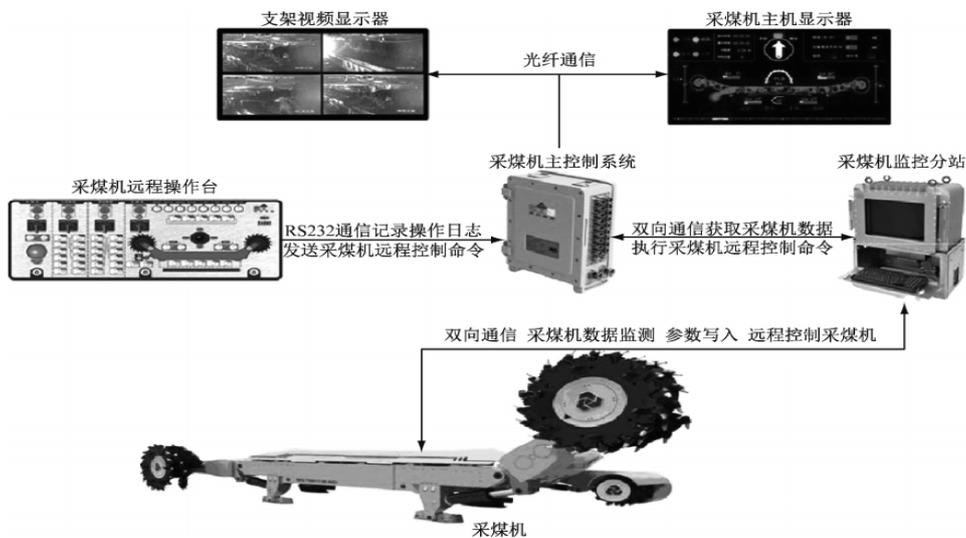


图 4 智能化综采放顶煤系统

塔山矿综采工作面集成应用了众多理论，装备和监测等软硬件研发技术，开发特厚煤层采放协调智能放煤控制软件，实现地面调度室远程放煤一键启动，通过对顶煤厚度、采场环境在线感知，自动匹配工艺策略，实时监测煤机位置、运输机负载、放煤口姿态，动态调整工艺参数，实现群组精准放煤、采放协调开采。

5. 主煤流运输系统

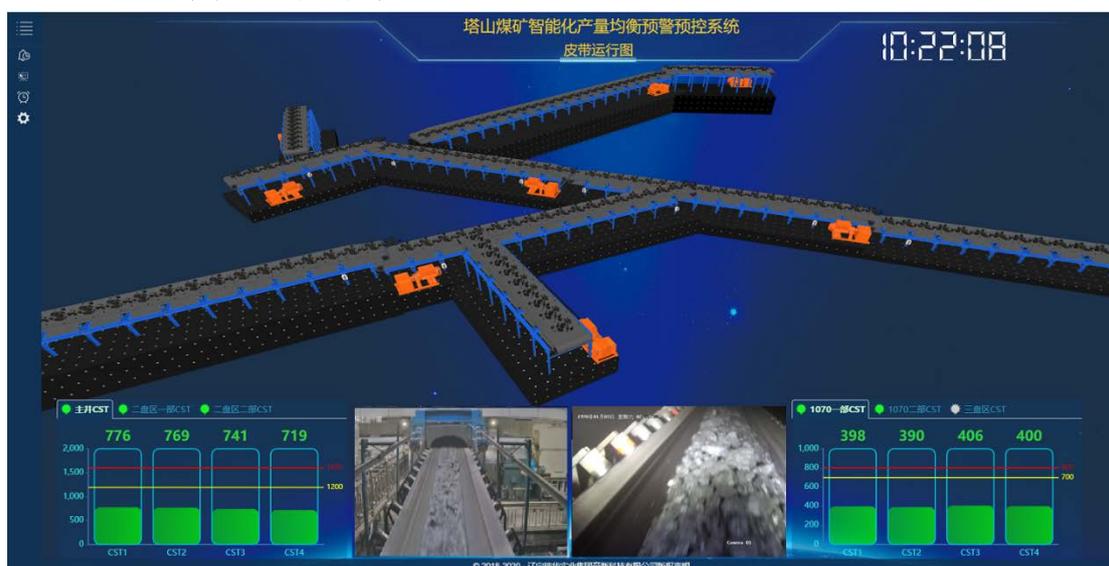


图5 智能化主煤流运输系统

主运输方面塔山煤矿首创了胶带主运输时空预警系统，该系统通过对矿井工作面出煤量和主运输关键设备运行数据实时采集和分析，结合智能决策算法，采用机器学习、自动纠偏，实现主煤流运输系统载荷量的准确超前预知，并通过多盘区多工作面煤流均衡控制技术，避免重载停机。同时系统具备主运输胶带智能识别检测，使用高清拍照、5G传输、实时对比、AI深度学习等技术，形成胶带损伤程度变化和安全预警报告，实现了精准检修。确保矿井主运输全天候无故障高效运行。

6. 辅助运输系统

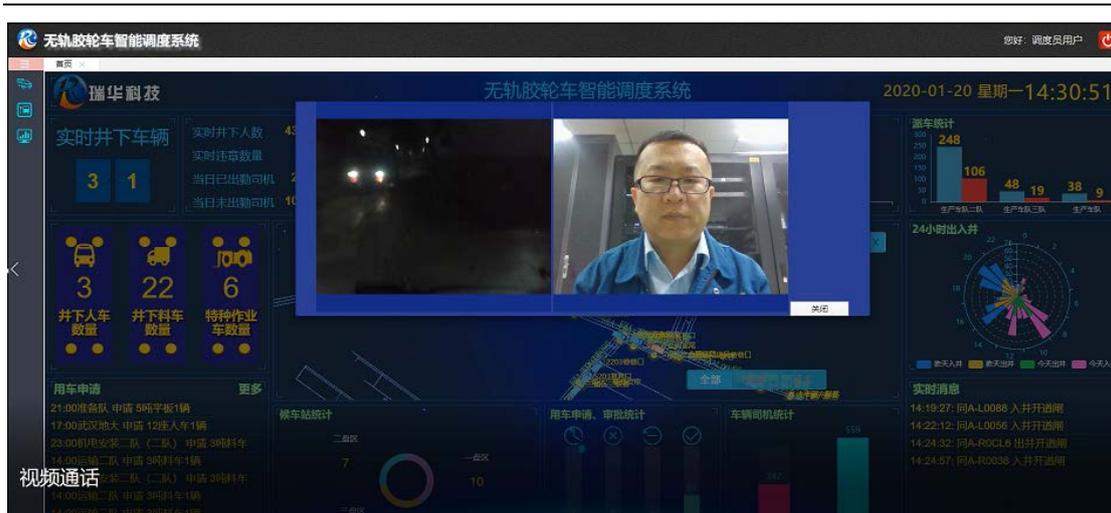


图 6 智能化辅助运输系统

在基于矿井坐标的 30cm 高精度定位系统之上，塔山煤矿的辅助运输率先在全煤行业推广应用了“网约车”智能化辅助运输管理系统。通过采用精确定位为主的多系统融合技术，实现井下无轨胶轮车运行管理的全面数字化、智能化。

7. 通风与压风系统



图 7 智能通风系统

主通风系统、制氮系统、清洁能源供热系统已实现在线监测、远程集中控制、智能预警，具备无人值守条件。同时清洁能源供热系统利用矿井回风余热、瓦斯抽采泵冷却水余热、压风机余热

废热作为热源替代原有燃煤锅炉，解决了进风井冬季井筒防冻和建筑采暖问题，保障矿井冬季供暖需求。

8. 供电与供排水系统

(1) 供排水系统



图8 智能供排水系统

塔山矿中央、主要盘区水泵房采用“避峰填谷”、“涌水监控”、“效率优先”等技术优化算法，已实现远程监控、智能预警、做到联排联控，并将井上下水泵房和污水处理厂形成矿井水完整闭合控制系统。

(2) 主供电系统



图9 智能供电系统

塔山矿运用数字化变电站、智能电网、智能传感、智能保护、边缘计算、远程运维等技术综合应用到煤矿供配电监控系统，采用智能监控、5G+智能机器人巡检等方式，实现了矿井中央、采区等高、低压供电系统监测、监控、保护、故障预警及定位闭锁、电量能耗分析统计、大数据分析、远程运维、融合联动与快速恢复供电等一系列智能化功能。同时结合5G+巡检机器人，采用多场所定制算法，对巡检区域人员、行为、高开柜分合状态及显示屏数据进行智能识别、对视频所拍摄区域进行温度检测、异常情况视频跟踪锁定并实时告警，实现全天候智能巡检、无人值守。

9. 安全监控系统

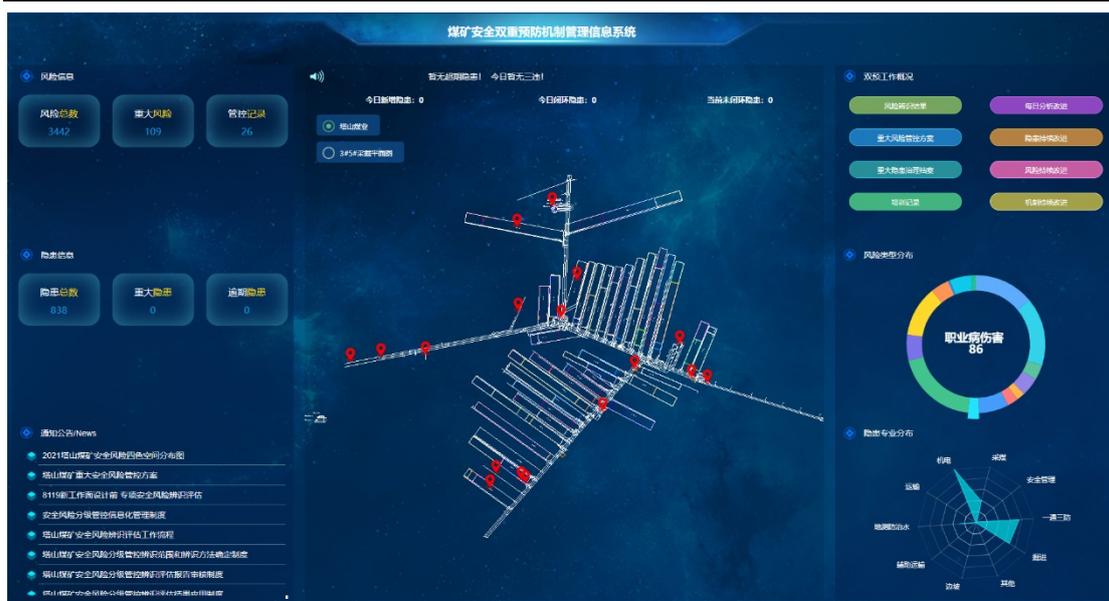


图 10 安全双重预防机制管理信息系统

对照 2020 版《煤矿安全生产标准化管理体系基本要求及评分方法（试行）》建成了双重预防系统，并完成了与山西省煤矿安全双重预防机制监管监察信息平台的联网工作，现全面进入应用管理阶段，矿井按照煤矿安全风险分级管控与事故隐患排查治理标准化建设要求和集团公司的管理要求及时上传本矿的风险清单、事故隐患台账、隐患督办信息、隐患治理方案和持续改进报告等内容，稳步推进双重预防机制的建设和运行。

根据国家智能化标准设计的灾害防治系统正在建设中。

10. 智能化园区系统

塔山矿采用三维场景视频融合技术，建立矿区的真实动态三维电子活地图，实现了园区管理的可视化、精细化、智能化。园区智慧消防系统拥有 1775 台报警器，实现了对园区全方位感知、全过程监控，提前发现各种消防隐患，有力保障了园区消防安全。

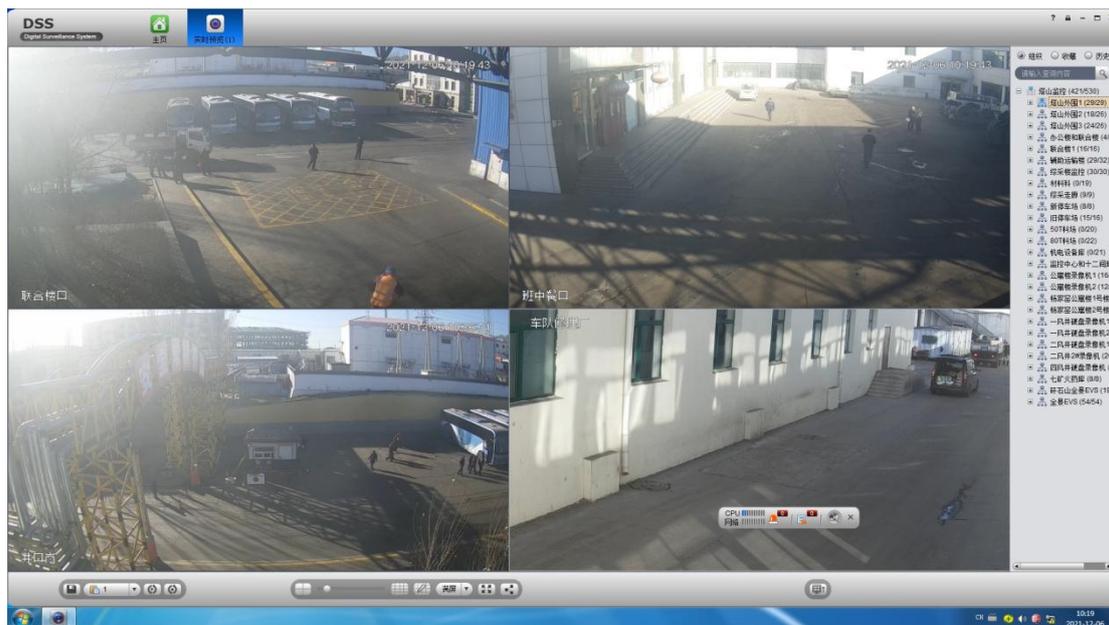


图 11 智能化园区系统

班车 GPS 定位系统对现行 25 辆班车进行实时精准定位，并通过每辆班车的 4 台摄像机进行实时监控，图像声音实时回传，实现安全全程监管，为员工安全增加一份保障。

同时，塔山矿应用无人机巡逻，对矿区内人工检查难度较大、地形复杂的区域，利用无人机高清镜头和预定路线巡查、巡视，及时发现人员、环境等异常，为园区环境安全提供保障。

二、技术特点及先进性

塔山矿智能化煤矿建设围绕总体发展战略，以机械化→自动化→信息化→智能化这条主线为路径，从煤矿实际情况出发，按照总体规划、分步实施、因地制宜、效益优先的建设思路，通过示范工程，探索适合塔山矿自身智能化煤矿建设的新模式。采用先进的装备与技术，将塔山矿打造为精干高效矿区，实现机械化换人、智能化减人；建设安全标准化矿区，有效预防和及时处理各种突发事故和自然灾害；打造高效协同管控典范，实现自动化系统的有机集成、数据共享、联动控制。

矿山云图智能决策平台是塔山矿的“大脑”，在一张三维时空矢量矿图上，使用实时地质数据信息，实现矿山的直观、透明化管理。平台同时涵盖了矿井的采、掘、机、运、通、地质防治水以及地面洗选运等十大系统，各系统实时数据均接入平台，便于数据汇总融合。以此为基础，打造数据互通、处理、分析于一体的煤矿安全生产智能决策平台，真正实现了多系统融合、透明化呈现、多维度分析、全过程管控的智能决策新模式。

数据中心结合塔山煤矿智慧矿山设计要求，承接矿端数据业务、主机、存储、计算、分析等功能，塔山矿建设了现代化数据中心，彻底解决机房环境差、分散布置、运维难度大、主机故障频繁、计算能力不足等问题。数据中心利用虚拟化技术、超融合技术、大数据技术等实现智慧矿山各系统数据统一融合、统一管理、统一分配，使得分散不同区域的主机存储数据等设备进行集中管理，减轻运维量、提高工作效率，同时对数据中心运算能力能够平滑过渡使用，提高服务器、存储等使用效率，提升智慧矿山各业务对 IT 资源的规划，满足智慧矿山建设发展需要。

智能化调度指挥中心主要由智能化综采掘进、智能化主辅运输、智能化供电排水、地面经营与安全管理等系统构成。通过搭建智慧网络平台，实现井下无盲点监控视频、现场无人化运行，可对整个安全生产流程全面管控。通过大数据分析技术，实现了煤矿人员定位系统的数据打通，调度指挥中心能够对煤矿井下人数、带班干部及人员行动轨迹进行实时跟踪，并形成智能化报表，实现了矿井安全生产管理等重要环节“监、管、控一体化”的全流程数字化、自动化调度运行模式，为煤矿安全管理插上数字化

的翅膀。

为满足塔山煤矿智能化煤矿建设对于数据传输高速通道的需求，2020 年塔山矿完成了万兆工业环网的升级改造，实现了万兆网络设备级联，千兆感知终端接入的网络连接形式，构建了智能化煤矿建设所需的数据传输高速通道，有力保障了矿井的智能化建设。

塔山煤矿在万兆环网的基础上，实现地面以及井下 5G 无线网络的全覆盖，迈向以 5G 先进通信技术为章引的“数字化、自动化、智能化”矿山建设。塔山矿 5G 专网采用 SA 架构组网，通过一体化设计，达到独立组网、独立运行，实现地面井下、专网公网互联互通，专网数据与公网隔离的“井上井下一张网”。率先使用多模基站，一次建设可实现井下 4G，5G、NB 无线网络全覆盖，满足低延时、智能控制、全面感知的需要，奠定智能化建设通信网络基础。

除万兆工业环网与 5G 无线网络外，塔山矿还在机电硐室等区域建设了 Wi-Fi 网络通讯系统。该系统结构多样，组网灵活，兼容性强，根据塔山矿的现状，可选光纤组网的方式来完成数据链路的传输，采用 802.11a/b/g/n 的标准无线网络协议，2.4G 最高带宽 340Mbps，有效保障网络的可靠性和稳定性，通讯距离 400 米。系统是开放式、分布式的系统，使得在不改变原有设备的情况下能方便的升级、扩容，确保系统的科学合理和先进性。网络采用开放的 Wi-Fi 协议，任何符合 Wi-Fi 协议标准的设备均可接入，可实现无线数据传输功能。

三、智能化建设成效

截止到 2022 年底，塔山煤矿智能化建设累计投资 3.827886 亿元，其中智能化综采投资 15377 万元，智能化掘进投资 835 万元，智能化煤矿系统投资 22066.86 万元，累计投资建设智能化煤矿系统项目 30 个，打造了 8 个智能化综采工作面（已验收 7 个）和 1 个智能化掘进工作面（已验收），现已建成一大平台、十大系统、27 个子系统和 12 个无人值守场所，并联合开发应用了井下皮带、泵房、变电所巡检、智能检矸、应急救援等机器人，初步构建起全面感知、5G 传输、自主决策、协同控制的智能开采新模式，矿井智能化建设初具规模，2020 年 12 月塔山煤矿被评为山西省智能化示范矿井，并入选国家首批智能化示范煤矿。2021 年 12 月 9 日，塔山煤矿顺利通过山西省能源局组织的智能化煤矿验收工作，按照国家能源局颁布的《智能化煤矿验收管理办法（试行）》评分 79.88259 分，按照山西省能源局颁布的《全省煤矿智能化建设评定办法（试行）》评分 83.1 分，塔山煤矿智能化建设目前评定为中级。

安全效益：从过去的“人工操作”到如今的“智能启停”，塔山智能化系统将安全管理、生产运输、环境监测等数据全部还原显示到综合管理系统中，使煤矿管理人员可以快速直观的了解煤矿的实时生产状态、设备运行状态，形成人、机、环、管闭环管控平台，同时通过大数据分析、人工智能技术为矿山安全、生产等方面出现的情况快速做出相应的调度和决策，实现融合联动、预警分析及快速应急响应。

经济效益：塔山矿围绕“机械化换人、自动化减人、智能化无人”的建设目标奋发赶进，从 2020 年建设至今，智能化系统

结合巡检机器人，使很多岗位实现了无人值守，减少作业人数 108 人，年降低人工成本数千万元。

社会效益：塔山煤矿智能化建设是典型“智能+绿色”煤炭工业新体系的代表，实现了煤炭资源的智能化安全高效绿色开发与清洁高效利用，为煤炭工业高质量发展树立了一个优秀的典范。

案例 34 鑫岩煤矿 5G 智慧矿山建设

主要完成单位：吕梁东义集团煤气化有限公司鑫岩煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

吕梁东义集团煤气化有限公司鑫岩煤矿主体企业为吕梁东义集团煤气化有限公司，由铁法煤业（集团）有限责任公司和山西孝义东义煤电铝集团有限公司共同出资组成，企业性质为国有控股，其中铁法煤业集团有限责任公司持股 60%，山西东义煤电铝集团有限公司持股 40%。井田面积 19.601km²，煤炭资源储量为 20920 万吨，剩余可采储量 16099 万吨。煤种以中灰、低至高硫分、高热值的焦煤为主。矿井核定生产能力 240 万吨/年，属于高瓦斯矿井，各煤层属于自然、容易自然煤层，煤尘均具有爆炸危险性，水文地质条件中等，开拓方式为主斜副立。现采 5 号煤和 10 号煤，5 号煤可采厚度为 0.70~1.61m，平均 1.04m，顶板岩性多为泥岩，偶见炭质泥岩伪顶，底板多为泥岩、砂质泥岩；10 号煤可采厚度为 3.20~5.40m，平均 4.56m，顶板为泥岩、砂质泥岩，底板多为泥岩。采煤工艺为综合机械化采煤，掘进为综合机械化掘进，采掘比为 2:6。

（二）建设内容

1. 信息基础设施

（1）有线网络

构建了万兆工业以太环网，为全矿的智能化建设提供了信息基础保障。

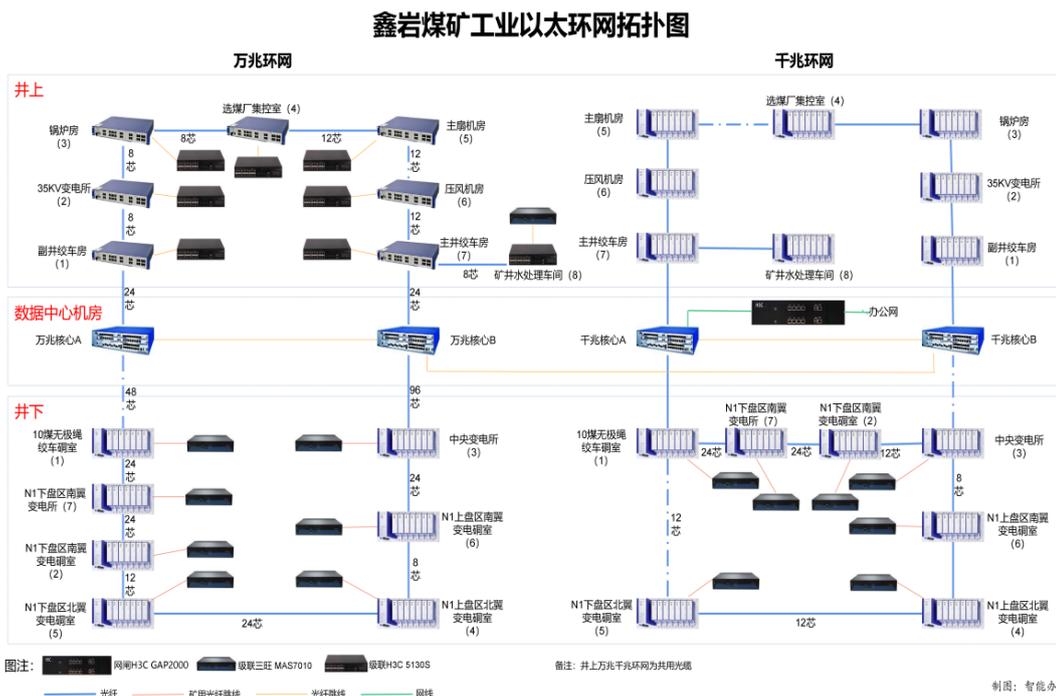


图 1 工业以太环网拓扑图

(2) 5G 通信系统

目前已建成覆盖井上、下的 5G 无线通信网络，可接入基站容量满足矿井通信全覆盖需求。利用 5G+工业以太网技术，准确、全面、清晰地获取井下安全生产数据和环境视频，实现井上井下高清音视频通话、各种数据快速传输、设备远程智能控制等多种应用，为矿井减人提效、安全生产奠定基础。



图 2 井下 5G 设备

（3）数据中心

建设了数据中心，依托集团公司大数据中心，实现数据分类、数据分析、数据融合功能，满足矿井数据服务与安全要求。



图3 数据中心机房

（4）综合管控平台

建设了矿井安全生产综合自动化集中管控平台，具有统一的系统接口标准、综合监控中心、数据采集、存储分析等功能，基于虚拟化应用技术，各智能化子系统在虚拟化平台独立部署并互联互通，实现“采、掘、机、运、通”等主要生产环节、井下环境安全等全流程综合集成监控。



图4 综合管控平台综合界面

(5) 精确人员定位系统

井下精确人员定位系统采用先进的 UWB 精确定位技术,实现静态定位精度不大于 0.3 米,并可对井下定位目标动态跟踪与轨迹回放。

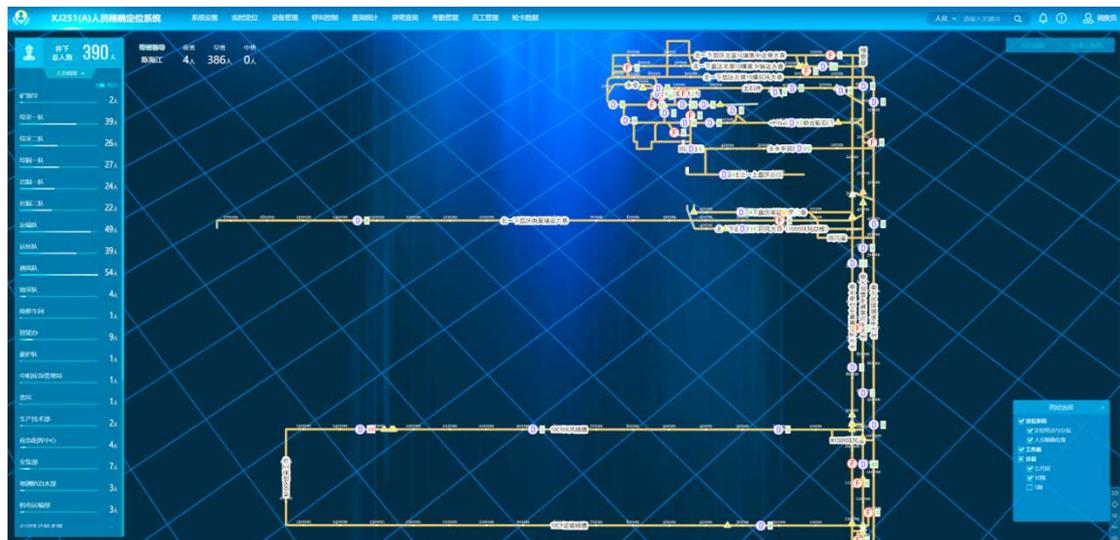


图5 精确人员定位系统

2. 地质保障系统

(1) 地测信息管理系统

实现地质数据可视化建模，基础信息、关联信息的数字化存储、融合分析、可视化展示等功能。



图6 地测信息管理系统

(2) 先进的地质探测装备

具有瞬变电磁仪、无线电坑透仪、无人机、等先进的地质探测装备。



图7 部分地质探测装备

矿井采用瞬变电磁仪、无线电坑透仪完成智能物探，能够降低人工劳动强度，提高勘探数据的精度与广度。

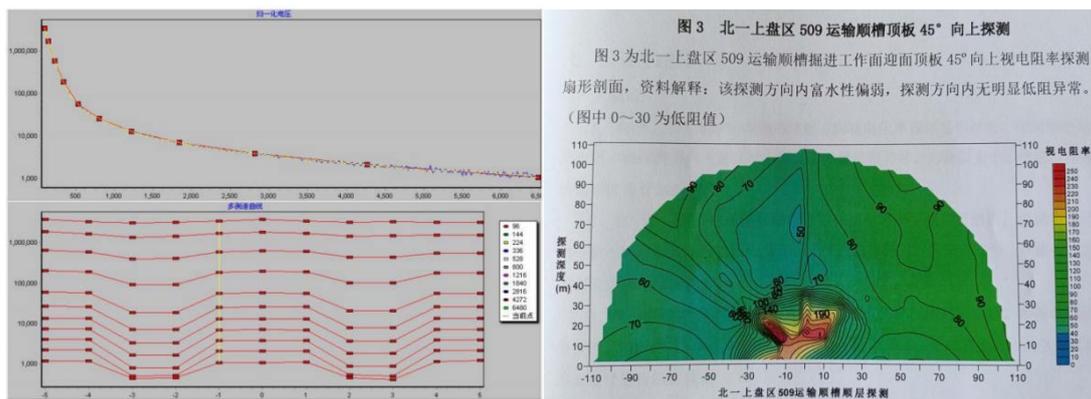


图8 物探数据

利用无人机进行地表数据采集，通过大疆制图软件实现三维建模，生成基于真实影像纹理的高分辨率实景三维模型。



图9 地面三维模型

3. 掘进系统

建设了智能化快速掘进系统，系统采用“掘、支、运”三位一体的快速掘进模式，可实现掘进、支护、运输平行连续作业。

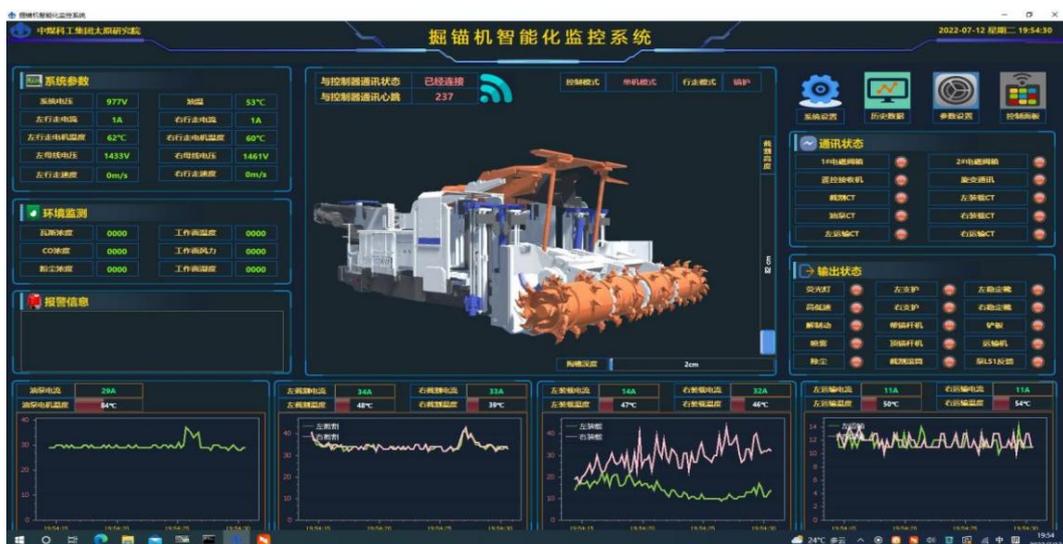


图 10 智能掘进系统

4. 采煤系统

建成五煤薄煤层智能化综采工作面和十煤大采高智能化综采工作面。智能化综采系统实现了采煤机记忆截割、支架自动跟机移架推溜、输送机支架自动找直、顺槽皮带自动缩带张紧等功能；实现了泵站、皮带机、转载机、破碎机、输送机、采煤机“一键启停”功能；在井下集控中心、井上调度集控指挥中心均可实现远程监控；采煤工作面智能化开机率达到90%以上，实现工作面“无人跟机作业，有人安全巡视”的生产模式。



图 11 综采工作面真实场景

5. 主煤流运输系统

主煤流运输系统实现主运输胶带机的远程集控和无人值守，实现顺逆煤流“一键启停”功能，增强了系统的安全可靠性。



图 12 主煤流运输系统

6. 辅助运输系统

(1) 轨道电机车无人驾驶系统

矿井建设有轨道电机车无人驾驶系统，通过 5G 网络实现远程实时调度、视频显示、无人驾驶、精准定位等功能。

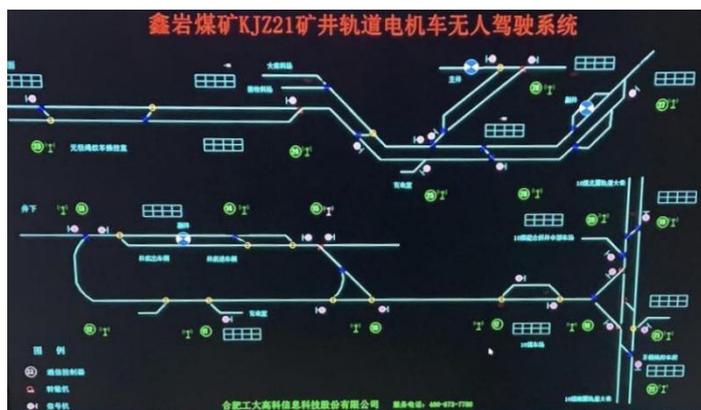




图 13 轨道电机车无人驾驶系统

(2) 主、副井提升无人值守系统

主、副井提升系统均已完成智能化改造，实现集中控制、自动运行、无人值守。

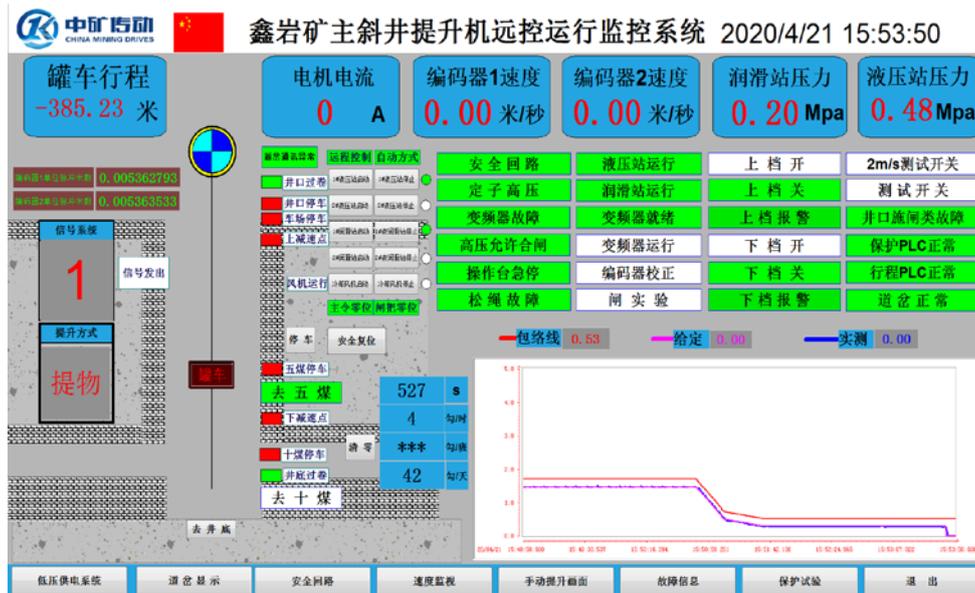




图 14 主、副井提升无人值守系统

（3）无极绳绞车运输系统

轨道无极绳绞车完成智能化改造，实现无极绳绞车运输的远程控制和无人值守。



图 15 无极绳绞车运输系统

7. 通风与压风系统

（1）主通风机系统

建设主通风机在线监控系统，实现通风机在线监控、调度远程控制启停、故障自动倒机和“一键”倒机等功能，主通风机房实现无人值守。



图 16 主通风机系统

(2) 煤矿局部通风机监控系统

建设煤矿局部通风机监控系统，此系统能够通过地面监控平台实时监测局部通风机的运行工况参数，实现远程开停、“一键”自动切换和故障报警等功能。

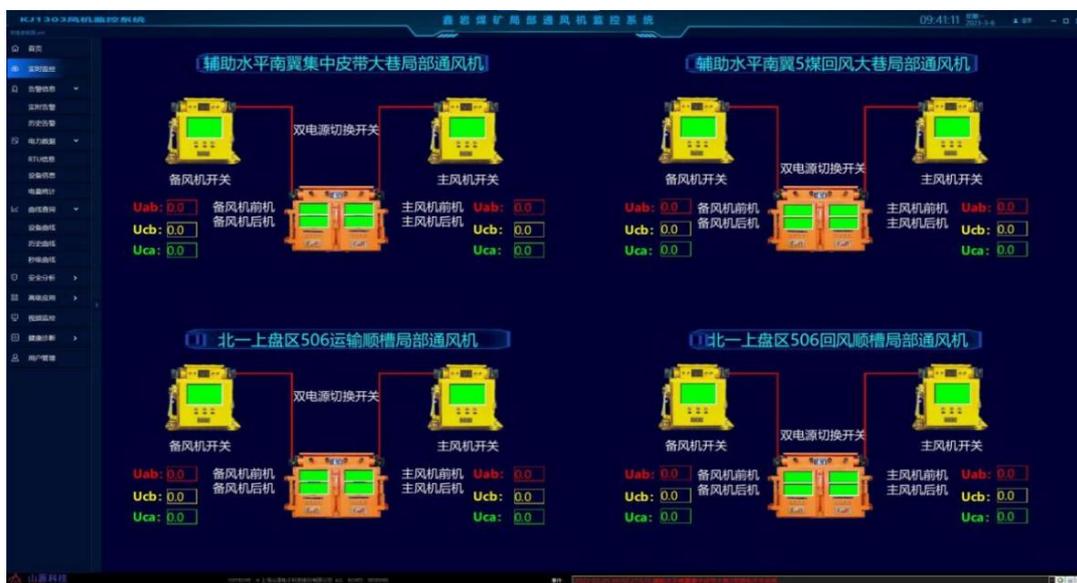


图 17 局部通风机监控系统

(3) 瓦斯抽放系统

建设瓦斯抽放泵站无人值守监控系统，实现瓦斯泵站两台高压、两台低压瓦斯泵的自动控制功能，瓦斯排放各种相关阀门的开、关控制，环境、管路、工况参数监测等功能，实现瓦斯

泵站的远程监控、自动运行。



图 17 瓦斯抽放系统

(4) 压风系统

空压机无人值守系统实现高低压自动投切、空压机远程控制、无人值守。

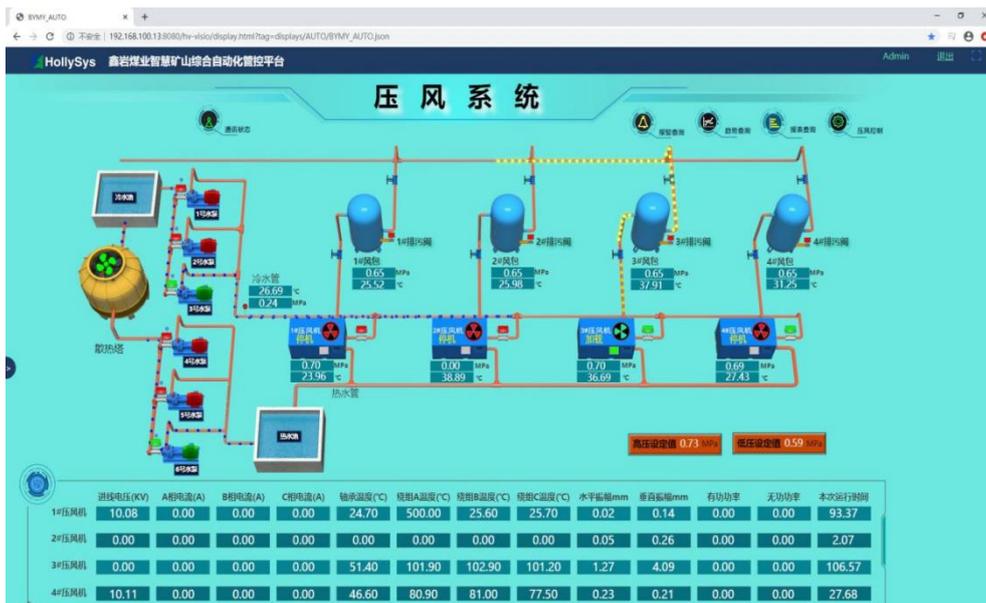


图 18 压风系统

8. 供电与供排水系统

（1）供电系统

井下中央变电所、采区变电所安装电力监控系统，具备远程分合闸、试漏跳、防越级跳闸等远程集中监控功能，实现了无人值守。

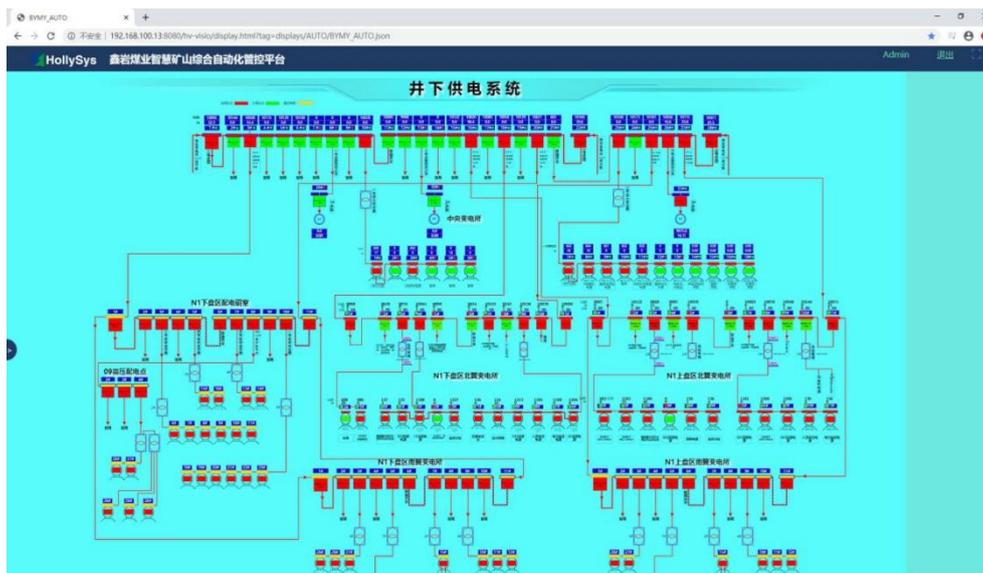


图 19 供电系统

（2）供排水系统

建设了矿井净化水自动化系统，实现供水、污水、净水、排水全过程自动化集控，取消了手动加药、开阀等人工工序。整套系统具备负荷调节、管网调配、能耗分析、自动运行、故障报警等功能。

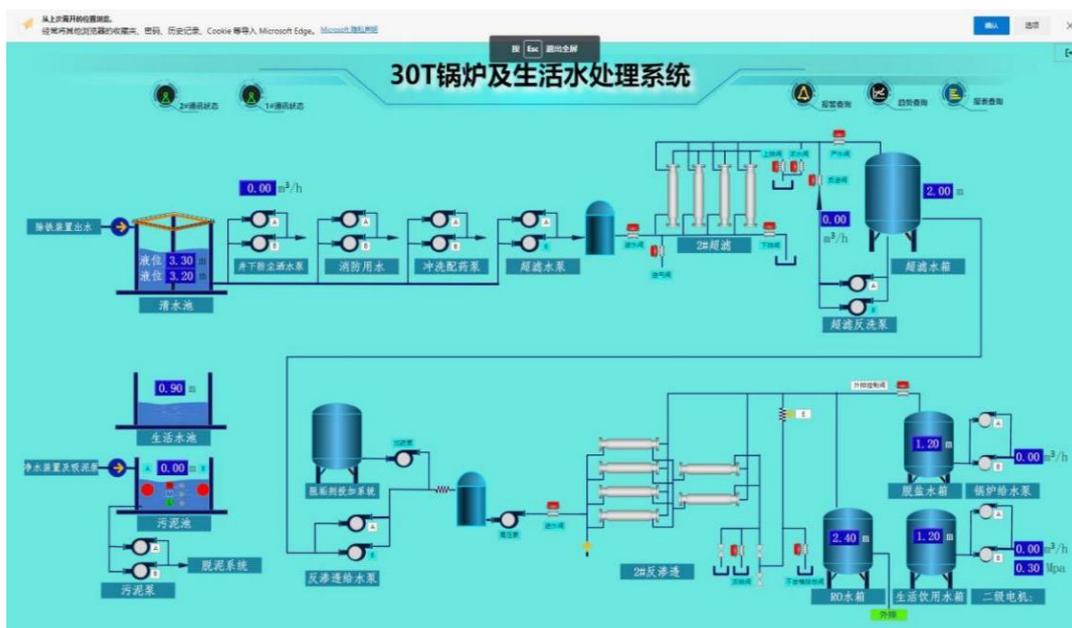


图 19 锅炉房及生活水处理系统

矿井排水系统，中央水泵房、盘区水泵房均建设了自动排水系统，实现自动排水，远程集控、无人值守。



图 20 供排水系统

9. 安全监控系统

(1) 安全监控系统

KJ70X 矿井安全监控系统能够实现对井下主要作业环境瓦斯

浓度变化的实时在线监测，根据瓦斯监测数据对瓦斯积聚区进行智能预测、预警，并进行瓦斯超限区域智能断电。实现了安全监控、人员定位、应急广播的三网融合联动。

ID	名称	类型	报警值	单位	报警值	报警值	报警值	报警值	报警值
001	1号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
002	2号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
003	3号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
004	4号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
005	5号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
006	6号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
007	7号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
008	8号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
009	9号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
010	10号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
011	11号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
012	12号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
013	13号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
014	14号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
015	15号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
016	16号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
017	17号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
018	18号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
019	19号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
020	20号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
021	21号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
022	22号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
023	23号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
024	24号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
025	25号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
026	26号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
027	27号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
028	28号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
029	29号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					
030	30号采区回风巷瓦斯传感器	甲烷传感器	1.0	%VOL					

（2）煤矿水文动态监测系统

建设煤矿井下水文动态监测系统，实现对主要含水层、井下主要出水点、井下重点密闭、中央水仓、盘区水仓等重点部位水文变化的实时动态监测，具备监测数据实时分析与预测、预警功能。

（3）井筒报警灭火控制系统

主斜井安装有 ZMK127 井筒用报警灭火控制装置，采用矿用隔爆兼本安型光纤测温主机和双通道测温光纤检测皮带温度，采用矿用烟雾传感器监测井筒内各类火灾隐患产生的烟雾，根据实时温控和烟控自动进行洒水灭火。

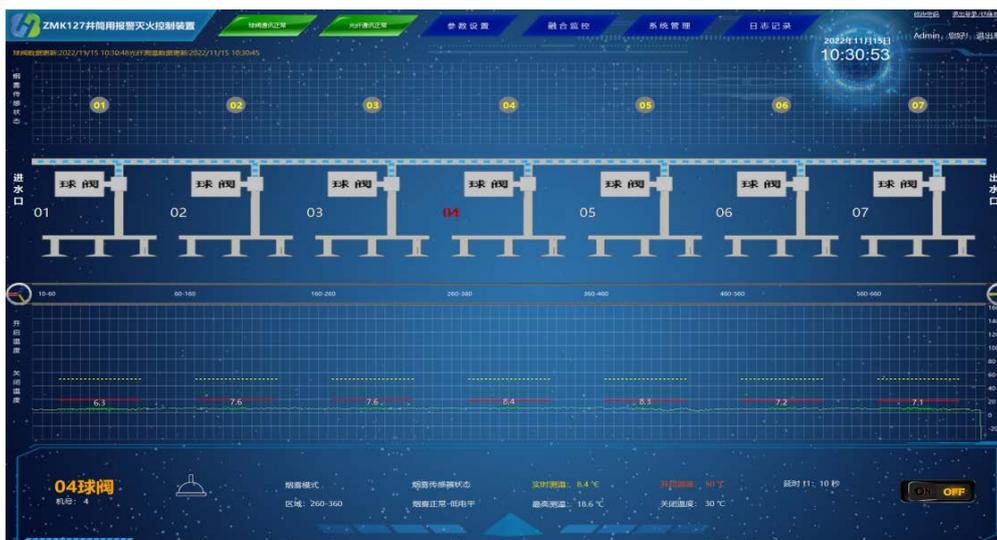


图 21 井筒报警灭火控制系统

10. 智能化园区与经营管理系统

(1) 智能指挥中心

鑫岩煤矿建有智能化调度应急指挥中心，集成智能化指挥、调度、管控、办公、展示等功能，实现对井上井下各系统的统一协调管控。

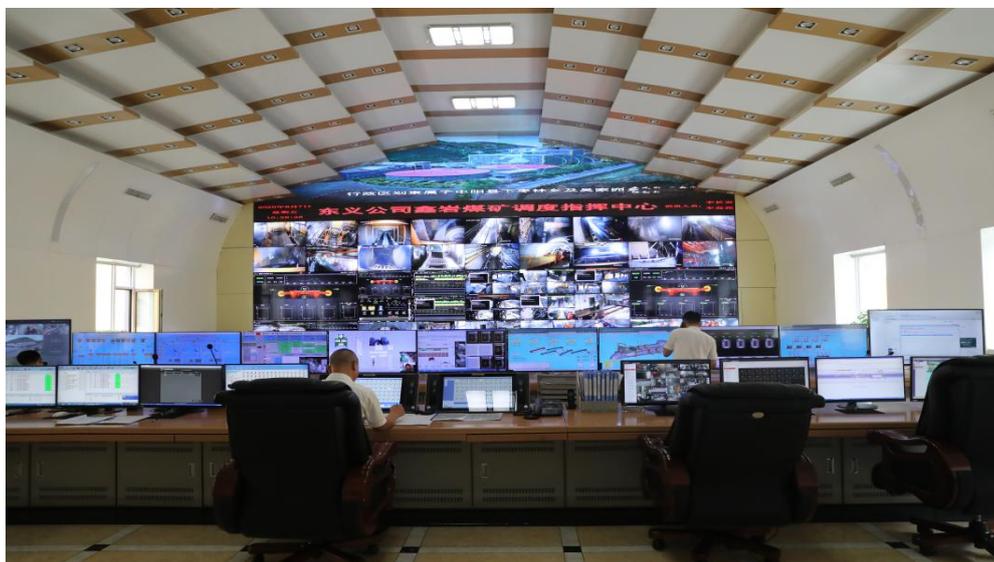


图 22 智能指挥中心

(2) 自动化煤炭销售系统

鑫岩煤矿建有无值守煤炭销售计量系统，实现自动排队、远程控制、自动装车、计量、结算等一体化流程作业。



图 23 煤炭运销管理系统

二、技术特点及先进性

针对新建矿井的特点，从矿井设计上考虑智能化建设问题，运用信息化、数字化、智能化理念，进行矿井整体的规划布局和智能化设计。

建设了井上下 5G 通讯系统，将 5G、工业以太网技术与生产系统深度融合，采用分组切片技术，利用 5G 通讯技术的低延时、高带宽，同各智能化系统深度融合，保证了各智能化子系统的可靠性的同时，解决了各智能化子系统远控时延问题，保证各个智能化子系统能够安全稳定高效运行。

应用新一代快速掘进系统，优化形成了适合高瓦斯矿井的“掘、支、锚、运”平行作业的快速掘进工艺，降低工人的劳动强度，安全系数显著提升，能有效缓解接续紧张的局面。

通过六个智能化综采工作面的投入使用，实现了采煤全过程的少人无人化，不仅节约了可观的人力成本，极大的降低了工人的劳动强度，减小安全事故发生的可能性，为企业带来的综合效益不可估量。

建成了主、副井提升智能化监控系统，解决人为手动开车存在误操作情况，大大提高了行驶过程中的安全性，运行状态能够实时监控，能及时发现设备故障和问题，及时处理，保证了设备运行的稳定，绞车房为无人值守智能运行，节约了可观的人力成本。

采用5G、工业视频、智能矿灯等技术装备，打造了安全监控智能平台，实现了重要作业场所、重点岗位全流程监督和可视化管理，达到“无监控不作业”的安全管理模式。

现有矿井5G智慧矿山所有智能化子系统，均采用国内先进智能化技术建设而成，具备掌握自主核心技术的能力。

三、智能化建设成效

（一）安全效益

矿井通过智能化建设，使“少人则安、无人则安”的管理理念真正在实践中得以践行。智能化综采投入使用后，工作面由原来的12人减少到现在的2人巡检，使大部分工作人员远离危险的一线作业环境。以“本质安全”为目标，至今已经完成6个智能化综采工作面回采，未发生一起安全事故，智能化建设有力保障了员工的生命安全，为企业带来最大的安全效益。

（二）社会效益

通过智能化建设，“以人为本”的安全理念得以更好的诠释，一线工人的劳动强度得到明显改善，由过去的“脏累险苦”变成现在可以坐在调度指挥中心和远离生产一线的井下集控中心进行按键采煤，鑫岩煤矿工人的社会地位提高了、影响力扩大了，社会美誉度和知名度得到不断提升，在吕梁地区煤炭行业树立了

良好的社会形象，为同行业智能化矿山建设提供了参考和积极推动作用。

（三）经济效益

智能化综采工作面实现减员 50%，截止目前全矿智能化系统共计实现减少人员 153 人，吨煤成本降低 15 元/吨，初步估算年可以节约人力成本 3000 万元，减人降本效果显著。

案例 35 富家凹煤业智能化煤矿建设

主要完成单位：山西蒲县宏源集团富家凹煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西蒲县宏源集团富家凹煤业有限公司位于山西省临汾市蒲县太林乡，是经山西省煤矿企业兼并重组整合工作领导小组办公室以晋煤重组办发[2009]99 号文批复的兼并重组整合矿井，由七座矿井整合而成，整合后井田面积为 17.8623km²，采矿许可证批准开采 2~11 号煤层，现开采 3 号、11 号煤层，矿井设计能力 120 万吨/年，证载核定能力 250 万吨/年。主、辅水平为配采，主水平按 200 万吨/年生产、辅助水平按 50 万吨/年生产。

主水平开采 11 号煤层，水平标高+1220m，煤层平均厚度 2.23m，属近水平煤层，煤种为 1/3 焦煤，煤层赋存稳定、有爆炸性、自燃等级为 II 类；矿井涌水量为 35m³/h，最大涌水量 236m³/h；全矿井绝对瓦斯涌出量为 4.87m³/min，相对瓦斯涌出量 0.91m³/t，属低瓦斯矿井；

辅助水平开采 3 号煤层，水平标高+1310m，煤层平均厚度 1.5m，属近水平煤层，煤种为 1/3 焦煤，煤层赋存稳定、有爆炸性、自燃等级为 II 类。

（二）建设内容

在宏源集团智能化矿井的整体框架下，富家凹煤业智能化矿井建设的指导思想是“区域领先、国内先进、安全高效、生态和谐”。富家凹煤业采用国内一流的先进技术和装备，实施科学开

采，努力提高矿井的信息化、自动化以及智能化水平，以降低劳动强度、改善工作条件以及减少井下人员。同时，吸收国内成熟先进的智能化技术，实现矿井数据的高度共享和业务流程的协同工作，实现矿产资源开发与环境协调发展，建设以人为本、融合良好的企业文化，促使矿山和谐全面发展，努力建设成一个安全、高效、绿色、智能的矿山。

我们从 2020 年 6 月开始启动智能化综采工作面建设，2020 年 11 月份启动智能化矿井项目建设，2021 年 11 年开始建造智能化掘进工作面，到现在建成了 29 个智能化矿井系统、3 套智能化综采系统、3 套智能化掘进系统。整个智能化矿井系统分为三层：智能化管控平台应用层、网络传输及数据中心、自动化监测控制系统。

1. 信息基础设施建设

在信息基础设施建设方面，我们建设了八个项目，分别是数据中心机房、数据中心、调度大屏、万兆工业环网、地面矿区 Wi-Fi 覆盖升级改造、有线调度通讯系统、视频监控系统升级改造、4G+5G 无线通信系统、网络安全。

机房由上海创力集团股份有限公司承建，采用双回路供电，具有自动切换功能。供电电源的容量为全部设备功率（125KW）总和的 1.5 倍；核心设备供电和空调、照明、大屏幕等供电分为两个独立的系统，且为核心设备配备了可持续工作 4h 以上的不间断备用电源，确保常规供电电源停电后，机房系统仍可坚持运行到常规供电恢复正常，为数据中心提供可靠底层的物理基础设施。

数据中心由上海创力集团股份有限公司承建，应用新华三集团研发的虚拟化平台，实现对数据中心内的计算、网络和存储等硬件资源的虚拟化管理，利用云计算架构，具备数据分类、分析、挖掘、融合处理等功能，实现各系统之间数据的互联互通与融合共享。为智能化管控平台的建设提供基础架构支撑。

富家凹矿在调度大厅部署了一套组合方式为 11×37 LED 拼接大屏幕，整屏面积 52.23m²，总分辨率 9472.0*1584.0。通过大屏幕显示系统，调度人员可以实时观看安全生产监控系统有关的各类信息综合自动化监控画面、实时工业视频信号及各种管理软件系统报表、图像信息。可随时对各种现场信号和系统监测图文数据进行全方位监控，及时做出判断和处理，发布调度指令，实现安全生产的实时监控和集中调度。

万兆工业环网由工业以太网交换机、井下节点、地面节点组成的环形网络，其主干网络带宽不低于 10000Mbit/s，具备组环功能，防止单点故障影响整个网络的数据传输，发生故障后，能在 30ms 内迅速恢复正常；是煤矿智能化建设信息承载的高速公路。

4G+5G 无线通信系统由中国联通承接建设，采用南京北路生产的 KT162 型井下无线通信系统，将 5G 通信技术与现代煤炭开发利用深度融合，实现井下与地面的 4G 与 5G 的语音和视频通信等功能，保障井上下实时沟通联络。

2. 智能综合管控平台

智能化管控平台是智能化矿山的顶层，与北京龙软共建，基于 GIS “一张图”协同、大数据、云计算、物联网技术构建的智能化煤矿顶层应用平台，是智能煤矿的大脑。平台分为三大部

分：自动化控制中心、智能管调中心、矿山安全中心。

自动化控制中心实现了生产控制类系统的数据整理、分析和统计；能够实时监控全矿生产设备的运行状况。

智能管调中心实现了对“采、掘、机、运、通”整个生产业务流程中矿图协同绘制与管理，并且基于二/三维 GIS 技术，实现智能化矿井主要管控过程的可视化展示、分析和操作，实现矿井生产技术各专业之间的在线协同、数据共享，提升业务集成、安全生产等全面的管理能力。

矿山安全中心实现了风险、隐患管理，对危险源（如瓦斯、水文、火灾、矿压等）、作业环境、地质构造、设备故障等的动态分析和预测。

3. 地质保障系统

我矿采用瞬变电磁探测和坑透探测方法对采掘工作面地质和水文地质条件进行超前探查、并进行钻探验证，达到了地质构造、陷落柱、积水区等地质异常区精准探测，提高了地质和水害预报精度，为采掘部署提供了技术依据。

掘进工作面每次钻探前，采用 YCS200A 与 YCS60~F 型矿用瞬变电磁仪进行物探，每次探测距离为 100m，物探正常区域执行正常超前探设计，物探异常积水区补充探放水设计进行钻探验证。

回采工作面采用 YCS200A 与 YCS60~F 型矿用瞬变电磁仪瞬变电磁仪和 YDT175 型矿用无线电波透视仪在工作面两顺槽进行物探，探明工作面积水异常区和地质异常区，根据物探结论对异常区进行钻探验证。

基于智能化管控平台建立了三维地理信息系统和煤矿基础

数据管理系统，具有数据录入、编辑修改及展示浏览功能；地质和测量数据管理满足三维地图系统矿图编制及三维模型建立要求；实现矿图的数据生成、编辑修改和在线浏览；建立三维地图管理系统，对三维可视化模型数据进行远程管理和远程发布；建立煤矿井下建模系统，实现煤层、巷道等三维数据建模和三维可视化。

4. 掘进系统

富家凹目前建设有三套智能化掘进系统，其中一套是富家凹煤业与中国中铁工程装备集团合作，量身定制了一台符合井下实际生产需要的国内首台低矮型半煤岩快速掘锚成套装备，该套装备整体操作方便快捷，可远程遥控操作、一键启动，具有自动升刀、进刀、割煤、拉底等割煤工序，实现了掘进、支护、运输的平行作业，达到了一次性成巷的效果，不仅极大改善了掘进工作面工作环境，而且降低了职工劳动强度，提高了整体掘进功效。另外两套是掘进机智能化改造项目，实现了整机工况参数监控故障诊断、工作面音视频远程重现、掘进机机身与侧帮接近预警、悬臂与铲板防碰撞预警、截割超欠挖预警以及机身坐标系下截割头位姿检测、边界标定、记忆截割等功能。

5. 综采系统

富家凹目前建设了三套智能化综采系统，目前分别用于11203工作面、11207工作面、3101工作面。11201智能化综采工作面由富家凹煤业与上海创力集团共建；11207智能化综采工作面由郑煤机提供智能化系统；3102智能化综采工作面是国内首套由单一厂家（郑州煤矿机械集团股份有限公司）提供成套装备的

智能化薄煤层工作面。三套系统均基于支架电液控制系统、顺槽集控系统、地面监控系统、三机控制及通讯系统、井下集控中心、地面集控中心，建立了一套适用于智能化开采的分布式集中控制系统，实现或设计有工作面设备一键启动、支架自动跟机、采煤机记忆割煤、工作面视频监控、语音通讯、设备工况监测、乳化液自动配比等功能。

6. 主运输系统

主运输监控系统由上海创力集团股份有限公司承建，具备对带式输送机的速度、温度、烟雾、跑偏、撕裂、打滑、堆煤、输送带张紧力下降等保护装置以及电机工作电压、工作电流、功率、运行状态等的监测、显示、报警功能，同时具备多电机速度同步控制和功率自动平衡功能，实现了对地面、井下多条带式输送机的自动、手动、就地、地面远程集中协同控制，一键式连锁启动，无人值守。

7. 辅助运输系统

辅助运输系统包括两个项目，分别是副井绞车系统升级改造接入和架空乘人系统接入。

副斜井绞车系统主要包括变频控制系统、矿用副井提升信号系统组成。副井绞车自动化监控系统已经接入智能化管控平台，实现对副井绞车和防跑车装置各运行信号及运行参数的实时监控。

架空乘人系统接入行人斜井、西胶带巷等地点共 5 部架空乘人装置到综合自动化平台，系统能够远程启停猴车、监视猴车的现场状况、实时监测架空乘人装置的运行状态、索道速度信号、

机头机尾越位保护信号、停车倒机时间等，并配有索道实时速度、历史故障等查询功能，实现了架空乘人装置无人值守、安全可靠、平稳运行。

8. 通风系统

主扇风机控制系统可实现对主扇风机参数的实时监控，将主扇风机控制系统接入综合自动化平台，可实现对通风系统的风速、风量、瓦斯等相关参数的实时监测，对通风机进行远程控制、远程切风、故障诊断和故障时的智能化电源切换，达到主扇风机房无人值守的效果。同时可实现对高压配电系统的远程电力监控（后台放主扇风机房值班室，并接入电力监控平台）。

9. 压风系统

富家凹矿井压风机房共有 3 台上海飞和螺杆式空气压缩机，压风机采用风冷方式冷却，调度中心设有压风机监控系统集成于综合自动化平台，实现对压风机的自动启停控制，压风机自动化控制系统可以实现多台压风机的单机和集中控制，在自动控制模式下，可实现空压机的自动轮询启停分配，压风机的运行参数、风机运行状态可上传至智能化管控平台，实现压风机房的无人化值守。

10. 智能供电与排水系统

电力监控系统由上海创力承接建设，在井下中央变电所、三采区变电所、二采区变电所等六个地点均安装高低压电力监控系统，并配置“六遥”功能（遥测、遥控、遥调、遥信、遥脉、遥试功能）、防越级跳闸保护功能，实现煤矿供配电系统运行监测、远程倒闸操作、远程保护定值优化、告警、故障录波、电量能耗

统计分析等一系列智能化功能，实现井下中央变电所、采区变电所等地点无人值守，安全可靠、平稳运行。

排水系统包括中央水泵房、二采区水泵房自动化控制系统，由上海创力承接建设，系统能够根据各台水泵的运行时间、水仓水位和峰谷用电时段，按最优化的方式自动实现水泵的循环启动。地面调度室可远程集中监控、操作电动闸阀启停水泵，通过压力、液位等传感器实时监测各水泵和管路的工作状态，并记录保存排水系统的水仓液位、管路压力等重要参数，实现了井下水泵房无人值守和定期巡检，使井下排水系统安全可靠、节能高效。

11. 智能安全管控系统

在智能安全管控系统建设方面，我们建设了安全监测监控系统、产量监控系统、精确人员定位系统、矿用顶板动态压力监测系统、束管监测系统、水文监测系统、智能探放水视频分析系统。

安全监控系统实现了矿井下甲烷浓度、粉尘浓度、氧气、一氧化碳等安全监测数据的采集、传输、存储、系统联动控制、系统超强自检、系统融合联动功能。

产量监控系统实现产量的实时监测，并能够通过应用 AI 分析技术、大数据分析技术完成对产量监测数据的综合采集和分析，确保产量数据的实时性、一致性和准确性。

人员精确定位系统由上海创力集团股份有限公司承建，该系统静态定位精度 $\leq 0.3\text{m}$ ；采煤工作面及顺槽、掘进工作面定位精度 $\leq 1\text{m}$ 。定位站至定位站之间最大传输距离大于 20km。具有人员位置、携卡人员出入井时刻、重点区域出入时刻、限制区域出入时刻、工作时间、井下和重点区域人员数量、井下人员活动路线、

特种作业人员情况等监测、显示、查询、异常报警、路径跟踪、考勤管理、搜寻等功能，且能够与安全监测监控系统、应急广播及信息发布系统进行融合联动，极大的提高井下作业环境的安全性和管理效率。

12. 智能园区与经营管理系统

这方面，我们建设了大数据分析系统、致远 OA 办公平台、机电全生命周期管理系统，实现了在线办公；生产计划及日常调度管理；规程措施编制、技术资料、专业图纸设计、采掘生产衔接跟踪、工程进度跟踪、生产与技术指标、经营指标等无纸化管理功能；财务管理、成本管理、合同管理、运销管理、物资供应管理、仓储管理等系统；建立了大型设备运维及管理模型，合理调整设备检修及大型耗能设备运转时间，对主要生产环节设备健康状况、负荷率、故障停机率、能源消耗等指标进行分析。

二、技术特点及先进性

富家凹煤业智能化建设具备以下优势：

（一）标准化

智能化建设所采用的技术，符合相应的国际标准和国家标准，并符合煤炭行业的相关标准。

（二）实用性

智能化建设充分考虑各下属单位的实际工作特点、已有的软件系统、硬件设备现状，使得系统具有很强的实用性。

（三）先进性

智能化建设选用符合当今发展趋势的主流技术和思想，技术和产品成熟、稳定。既要保证系统在满足当前的功能需求，也为

将来的发展需求提供条件。

（四）可靠性

智能化软件可靠性包括可测试性、可理解性和可修改性。通过建立完善的统一编码管理系统，实现设备、数据实现唯一编码，便于日后功能扩展的可靠性。

（五）经济性

就当前来说，智能化建设需要相当大的资金投入，但是就长远来说，智能化建设的经济性将非常大，比如，矿井的安全效益、社会效益以及经济效益。

三、智能化建设成效

（一）安全效益

通过采掘工作面智能化建设，达到了减人增效的建设目标，综采工作面生产班每班减员 4 人，掘进工作面生产班每班减员 2 人，有效降低采掘工作面区域人员劳动强度，减少人员数量，大大提高了安全指数。通过自动化子系统建设，实现了井下所有变电所、水泵房、主运输带式输送机、架空乘人装置等固定场所无人值守，井下共计 18 处固定场所合计减人 60 人。通过智能化管控平台建设，调度指挥中心可以快速获取各类矿井数据信息，能够快速发现、识别安全隐患问题，有效避免安全生产事故，提升了矿井本质安全水平，有效避免因隐患事故造成的生产中断、甚至人身伤害和财产损失。

（二）社会效益

当前的智能化建设也在一定程度上促进了社会的技术发展，有效解决过去实际生产过程中的壁垒。同时，也为政府、涉煤企

业等制定智能化建设行业技术标准和行为规范提供参考。

（三）经济效益

智能化综采工作面生产班共计减少人员 12 人（按平均人工成本 12000 元测算，节省人工成本 172.8 万元/年），智能化掘进工作面生产班共计减少人员 8 人（按平均人工成本 12000 元测算，节省人工成本 115.2 万元/年）。通过智能化系统建设，可有效的减少工作面区域人员劳动强度以及人工数量，从而实现安全高效作业。

案例 36 寺河煤矿智能化矿山建设

主要完成单位：晋能控股装备制造集团有限公司寺河煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

寺河矿隶属于晋能控股装备制造集团，1996年开工建设，2002年建成投产。矿井采用“一矿两井”的开采模式，井田面积161.08km²，公告生产能力东井500万吨/年，西井400万吨/年，为煤与瓦斯突出矿井，属国家一级标准化、特级高产高效矿井。矿井采用斜井、立井混合开拓方式，现开采煤层为3#煤，煤层厚度6m，煤尘无爆炸性，无自燃倾向性，水文地质条件中等，围岩较稳定对采掘有一定影响，综采一次采全高。

（二）建设内容

1. 总体思路

按照“整体规划，基础先行，优化系统，逐步推进”的建设原则，本着“实用适用”的工作要求，矿井提出了具有寺河特色的“3·1·2·5”智能化矿山建设总体思路，即实施3项基础设施改造（数据中心建设、一体化通信网络建设、调度指挥中心改造），建设1个系统（大数据分析系统），2个平台（综合自动化集控平台和可视化智能管控平台），5项核心应用（矿井安全保障、设备管控、生产协同、经营管理、智慧矿区）。

2. 建设规划

按照三步走的实施规划，矿井明确了“135”具体实施计划。2023年寺河矿以东、西井均达到初级智能化矿山（新标准）为目标，通过采掘少人化、固定岗位无人化工作思路，完善信息基础

设施，并对主运输系统、辅助运输系统及井上下固定场所进行全面集中控制。

2025年寺河矿以达到中级智能化矿山为目标，通过信息化手段对各子系统进行数字化升级的工作思路，开展综合保障系统、安全管控系统、分选系统和经营管理系统的信息化升级，智能化管控。

2028年寺河矿以达到高级智能化矿山为目标，通过信息精准适时采集、高可靠网络化传输、规范化信息集成、生产环节自动化运行的工作思路，开展智能感知、智能决策、自动执行的智能化煤矿体系。

3. 基础先行

主要包括环网、数据机房和混合云平台的升级。矿井构建超宽的井下工业环网，骨干网络带宽达到50Gbps，并支持升级到100Gbps，保障5~10年井下各类高清视频的回传所需的带宽。全矿各系统通过万兆工业环网实现互联互通，最大限度地整合现有的基础设施和应用系统，满足跨平台、跨应用系统的信息共享，实现互联互通，减少重复建设和资源浪费。建立模块化数据机房，采用混合云平台承载计算、存储、网络等多种功能，以标准化、模块化、动态弹性部署和自助服务的架构方式实现业务快速上线的数据中心，矿井不断提升基于云计算平台的统一运维能力，实现业务系统资源的按需分配，灵活上线。

4. 智能综合管控平台

平台主要由智能管控一张图、生产执行管理系统、监测监控分析系统、大数据可视化平台、移动门户五个部分组成。

（1）智能管控一张图，采用GIS“一张图”的理念，以采掘

工程平面图为底图集成安全监控、人员定位、应急广播、视频监控、设备信息、避灾路线规划等系统，提供协同制图、整体看图、决策用图、以图防灾救灾功能，目前数据采集完成，正常运行。

（2）生产执行管理系统，用于生产、调度、通风、机电、地测、企管等科室业务管理，达到“生产过程协作、安全高效协同”的目的。

（3）监测监控分析系统，采用 FTP、API 等方式，将安全监控、矿压、水文、瓦斯抽采、定位、粉尘数据接入系统，统计主要数据。

（4）大数据可视化平台，建立算法库进行指标分析模型的搭建，将数据及分析结果以表格、柱状图、饼状图、条形图等多样方式展示，实现专业主题、领导驾驶舱、数据挖掘、智能调度等大数据决策应用。为矿井安全生产提供决策依据。

（5）移动门户，开发有安卓、iOS 端 APP，可查看产量、人员、领导带班、能耗监测、安全监控、瓦斯抽采、人员定位、视频监控、规章制度等信息。

5. 智能采掘工作面

智能化综采工作面采用了综采系统一键启停+自动截割、自动拉架、自动找直、自动调频、自动检测和自动防护的“1+6”智能综采控制体系。其中目前正在回采的 6306 工作面通过以先进可靠的泵站、支架电液控系统、采煤机智能截割、三机皮带远程控制为基础，以工作面视频、监控、惯导为保障，以工业网络为通道，以大数据平台分析和处理为依据，建设井下集控、地面远控的工作模式，减少岗位人员 6 人，单产水平提升了 5.8%。

智能化掘进工作面以三种模式进行建设，分别为智能掘进机

（改造）+掘进后配套，连采机+掘进后配套，掘锚机+掘进后配套，并实现了皮带、局扇、排水、供电的远程集中控制，已实现全流程机械化生产作业，通过工业网络集控到井下集控中心及调度指挥中心，实现机电设备的远程集中监控，从而实现掘进工作面少人作业，每班可减少作业人员2人，单进水平提升了15.3%。

二、技术特点及先进性

寺河矿属于生产矿井，适应智能化升级改造，重点提高采煤工作面智能化水平、掘进工作面减人提效和远程控制水平，井下水泵房等固定岗位全部实现无人值守作业，形成基于综合管控平台的智能一体化管控。按照“基础系统高容量-采掘系统高可靠-感知系统全覆盖-保障系统高适应”的思路，自下而上逐步实现智能化改造。

建设智能化综合管控平台，实现煤矿各主要业务系统的数据融合共享、网络互连互通与协同联动控制；建设大数据中心，实现数据的分类存储、深度挖掘与利用；建设高速高可靠数据传输网络；主煤流运输系统实现智能无人操控，定期巡检作业；应用无轨胶轮车精确定位实现辅助驾驶、智能调度；排水、供电等固定作业岗位全部实现无人值守。基础设备性能、水平满足未来智能化发展需要、国产化程度高。

三、智能化建设成效

矿井初步构建形成了“一调度+四中心”智能化管理新模式。“一调度”是指调度综合指挥系统。新建LED显示大屏和集中操作台，配套建设调度指挥系统，通过综合管控及综合自动化集控软件平台，融合调度通讯、应急广播、人员定位、辅助运输等系统，在调度指挥中心各工位实现界面及各类实时数据的综合显示，

完成矿井的日常生产指挥工作，减少了常规工作环节，安全工作效率提高 30%。

“四中心”具体包含井下系统集成中心、地面区域集控中心、辅助运输集控中心、瓦斯抽采集控中心。其中井下系统集成中心，可以实现了对井下供电、主运皮带、主排水、架空乘人装置的集中控制，具备设备的远程操作，一键启停功能，井下所有固定岗位均实现了集中监控，无人值守。同时正在建设智能化采掘操作仓，可实现对采掘工作面的远程操作，已累计减少井下固定岗位人员 102 人。地面区域集控中心，包括工业广场、常店三水沟、东风井等四个地面区域集控系统，采用光纤千兆通讯网络，配套 PLC 控制软件及视频监控，实现地面锅炉房、压风机房、配电室等固定场所设备的集中控制及各区域内设备运行数据展示及远程控制，形成了“集中监控，无人值守”的固定岗位运行模式，减少地面固定岗位人员 32 人。辅助运输集控中心，实现对矿用车辆、架空乘人装置的调度管理。建立矿用车辆运输管理系统，由井下 4G+Wi-Fi 6 组网，配备 UWB 高精度安全管理系统模块、三维综合管控 GIS 平台构成，具有实时定位跟踪、定时定点车辆查询、区域车辆分布统计等功能，实现对车辆的精准定位、智能调度，车辆利用效率提高 90%，进一步缩小了职工上下班等车时间。瓦斯抽采集控中心，实现对瓦斯抽采的全过程管控。通过智能打钻系统、定向钻机钻孔自动成图系统、瓦斯抽采精准计量系统及抽采效果自动评价分析系统，建立对瓦斯抽采源头、过程及评价分析的瓦斯治理全过程管控体系，形成了高瓦斯高突矿井的智能化瓦斯管理新模式。

案例 37 李村煤矿智能化促进安全生产融合

主要完成单位：山西潞安矿业集团慈林山煤业有限公司李村煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

李村煤矿为潞安化工集团下属单位，地处山西省长治市长子县境内，核定生产能力 300 万吨/年，井田批复南区面积 32.23km²。2020 年 2 月被山西省确定为 10 个智能煤矿建设试点矿井之一。

矿井采用立井单水平开拓方式，采煤方法为综采一次采全高采煤法，属高瓦斯矿井，绝对瓦斯涌出量 164.82m³/min，相对瓦斯涌出量 27.81m³/t，主采 3#煤层，埋深 480~850m，煤种为贫煤、无烟煤，煤层平均厚度 4.76m，自燃倾向性等级为 III 类，属不易自燃煤层，煤尘具有爆炸性，矿井水文地质类型为中等，全井田承压开采，矿井正常涌水量 250m³/h，最大涌水量为 330m³/h。

（二）建设现状

1. 智能化煤矿信息基础设施：建设有万兆环网、数据中心、一张网融合通信系统。提高了对信息网络传输能力、数据中心存储能力和处理能力，为支撑流程集成和业务应用的深度融合，提供了统一高效的流程处理能力。

2. 地质保障系统：装备地测空间信息系统，具有地质、测量、水文等各类图纸数字化管理功能。

3. 掘进系统：2305 回风巷、2305 进风巷、2306 回风巷三个智能掘进工作面通过了长治市能源局验收，工作面具有远程监控

系统、掘进机定位系统、皮带机尾自移系统，有效保证了掘进工作面的安全高效生产。

4. 综采系统：2020 年 4 月底完成了潞安化工集团首个大采高智能化工作面建设。第二个智能化综采工作面 1305 工作面通过了长治市能源局验收。智能化综采工作面可实现在集控中心对泵站、采煤机、支架、刮板输送机、皮带机的远程控制。采煤机割煤过程中，液压支架自动进行跟机拉架、推溜、伸收护帮等一系列自动化操作，实现减员增效的同时，有效保证了工作面的安全生产。

5. 主运输系统：主煤流无人值守项目建设完成，其中 5 部主皮带实现了“井下集中控制”、“地面远程控制”，1#上仓皮带安装了巡检机器人，6#、7#皮带安装了异物识别系统。

6. 辅助运输系统：装备 KJ666 辅助运输监控系统，具备运输设备的智能调度功能，实现运输过程的调度管控。

7. 综合保障系统：已完成压风机、西翼局扇、主变电所、井下水泵房无人值守建设。实现压风机系统的运行参数自动采集；根据故障及时发出报警信号，可自动、手动控制压风机的启停。实现局扇集中监控，统一管理。局扇运行数据远程传送到地面电力调度中心，实现地面监控中心对局扇配电点用电设备的远程监测。实现地面监控中心对变电所用电设备的远程监测、控制、遥测、遥调、遥信。实现矿井排水的自动化控制、地面远程监控，和地面视频移动巡检，实现无人值守。

8. 安全管控系统：由 KJ95X 型煤矿综合监控系统实现瓦斯灾害监测，火灾监测、粉尘监测。矿井水文监测系统和一钻一视频监控系统实现水害监测。装备 KJ216/KJ653 煤矿顶板动态监测系统，实现顶板灾害监测。装备矿井综合自动化平台和 KJ95X 型安

全监控系统实现灾害综合防治功能。安全双重预防机制管理信息系统实现全风险分级管控和事故隐患排查治理。装备 KJ751 煤矿瓦斯抽采管网监控系统，实现抽采系统监测。

9. 经营管理系统：由煤矿物资供应管理信息系统、煤矿办公自动化系统、煤矿财务管理信息系统、煤矿人力资源劳动工资管理信息系统、煤矿安全监管执法与决策支持系统、煤炭销售管理信息系统、煤矿生产技术综合管理系统等实现矿井经营管理功能。

（三）建设内容

以集团公司“1+3+N”建设智能、高效矿山理念，李村煤矿编制了专项设计，全面建设以潞安化工集团为中心的信息化标准体系，创建3个平台（一张网融合通信平台，一个云数据中心，一套智能管控平台）为基础的智能化工井信息系统架构，分阶段建设智能综采、智能掘进、智能辅助运输、智能主运输、智能供电、智能通风、智能水文地质、智能储装运选销、智能安全、智能调度指挥、智能机电、智能经营等“N个智能化业务子系统”，逐步实现全矿井人、财、物、产、供、运、销整个信息链的信息融通，实现矿山资源与开采环境智能化、技术设备智能化、生产过程控制可视化、信息传输网络化、生产管理与决策及生产经营科学化。

二、技术特点及先进性

（一）实现煤矿智能化后的各方面成效

1. 智能化掘进工作面，通过实时动态监测掘进环境，实现成套设备的位置、姿态、运行状态及人员、作业状态和施工质量、巷道成形参数全面数字化。依靠自动控制及各系统联动、设备闭锁、人员安防等自动化管控，实现作业人员遥控操作、掘、支、运集约化、成套作业，释放了掘进效能，提高了工作面安全系数，

实现减员增效。

2. 智能化综采工作面，综采自动化系统主要由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、顺槽集控系统和惯性导航系统组成。采煤机记忆割煤和惯性导航系统，可实现正常采煤生产过程以采煤机记忆割煤为主，人工干预为辅；可在集控室操作上位机控制采煤机割煤，实现采煤机远程控制，工作面跟机监护运行模式。智能煤流控制系统，在转载机机身中部和皮带自移机尾处安装两台煤量扫描仪，煤流控制系统根据运行的煤量情况，自动调整大溜和皮带机的运行速度。支架自动推溜和自动拉架、自动伸收护板板等自动控制功能基本能够实现。视频监控系统能够覆盖整个工作面，采用跟机视频运行模式，不需要操作员对设备进行直接性操作，消除设备误动作或各种不安全因素对操作人员的伤害，从根本上提高了安全系数。

实现“机械化换人，自动化减人”的目标。实现“以工作面自动控制为主，人工干预控制为辅”的自动化生产模式。工作面作业人数由原来的28人减至16人，大大减少日常生产作业人数，将员工从设备操作工变成巡视工，大大降低了员工劳动强度，极大改善了员工作业环境。按每工年平均薪酬10万元计算，每年可节约人工成本120万元。

3. 安全管控系统的实施，通过集成和融合井下区域内的环境参数、人员情况、视频、广播，提高矿井突发事件应急救援、应急响应能力。通过矿井安全隐患预警分析，大幅度降低人、机、环的不安全因素，提升安全管理水平，保障井下作业人员、设备、环境的安全。

4. 智能化工作面的初步实现，标志着李村煤矿向智能化、信

息化又迈进了一大步,开启了“六型矿山”建设新的里程碑,也鼓舞了大家的信心,要在大采高一次采全高智能化工作面领域创出李村特色,同心协力继续推进智能化矿井建设。通过智能化对企业管理进行梳理,提高企业现代化管理水平,提升了员工的整体管理素质。

（二）智能化建设和运行过程中形成的可借鉴推广的先进经验做法

在井上下 5G 网络优化的基础上,建设覆盖全矿井的 5G 融合网络,推进 5G 融合组网、终端接入和应用场景化。为井下安防、危险场所作业、虚拟现实和增强现实技术、远程控制、井下无人值守、协同运维等提供切实保障,提供最优网络支持,实现矿井少人化、自动化、可视化运行。

三、智能化建设成效

（一）安全效益

1. 通过区域安全监控,实现井下区域内的环境参数、人员情况、视频、广播等进行集成和融合,提高了安全管理水平,提高矿井突发事件应急救援、应急响应能力。

2. 系统智能融合动目标精准定位系统系统和安全监测监控系统,通过二、三维 GIS 平台为下井作业人员、胶轮车、掘进机、采煤机等设备信息提供全方位的位置服务和智能化安全保障。

3. 通过通风系统实时数据集成和通风网络实时解算,将矿井通风系统的三维动态可视化、通风系统的优化调节、故障动态报警等功能有机的融为一体,极大地提高系统安全性和可靠性。

4. 利用 AI 视频分析技术自动发现井下异常情况、场景或行为,实现及时预警、报警,将安全隐患消灭在萌芽状态。

（二）经济效益

1. 通过使用自主开发的数据接入技术实现了矿井安全生产子系统、传感器数据的高效接入，提高了工作效率，减少人力物力成本。

2. 通过对矿井安全生产子系统智能融合，实现系统间智能联动，保障矿山安全，提高矿井安全生产运行效率。

3. 通过AI视频分析技术的应用，可以实现视频监控系统的无人值守，在保障安全的同时，提高了工作效率。

4. 通过AI视频分析技术的应用，实现了矿井运输系统智能调速，改变主运输皮带空载高速运转以及“大马拉小车”的状态，实现主运输系统的节能降耗、减少胶带、电机等设备磨损损耗。

案例 38 东江煤业智能化煤矿建设

主要完成单位：山西东江煤业集团有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西东江煤业集团有限公司井田位于离石区西北约 25km 处的坪头乡锥家庄、池家岭、年跃塔村一带，行政区划属离石区坪头乡管辖，为民营企业，矿井生产能力为 210 万吨/年。矿井未地瓦斯矿井，开采 8、9 号煤层时水文地质类型为中等类型。井田采用斜井开拓方式。共布置 3 个井筒，即主斜井、副斜井、回风立井。

4. 采掘布置及煤层顶底板岩性

在一采区 9 号煤层布置 9104 采煤工作面，采用综采一次采全高采煤工艺，开采 9 号煤层，工作面煤层厚度 4.5m；在二采区 8 号煤层布置两个掘进工作面，分别为 8201 切眼及 8201 回风顺槽，煤层厚度 3.5m，采掘比为 1:2。

（二）建设内容

1. 智能化煤矿信息基础设施

有线主干网络采用万兆工业以太环网，符合 IEEE 802.3 协议，10000Mbps 通信网络，支持多种工业以太网协议。用于自动化系统接入，保证了井上下的数据流和信息流的快速传递。

无线主干网络采用矿用 4G 无线通信系统，系统集成井上下语音通信、无线信号传输，实现生产中各类信息之间的互联互通，提供了通信的统一调度和管理能力。

数据处理设备方面：各系统客户端采用工控机，数据采集、应用等服务器采用超融合服务器，采用“云-边-端”数据存储和处理模式；通过超融合搭建私有云，具备灾备、虚拟化资源池等配置。

2. 地质保障系统

建有地测空间系统及智慧矿山平台，能够对地层结构、地质构造、煤层厚度、矿井瓦斯等探测数据进行分析及上传，具有矿井 GIS 图，具备地质、测量、水文等各类图纸数字化管理功能。

3. 掘进系统

综掘工作面共装备两台 EBZ200M-2 智能化全液压两钻掘锚机，该机装备一套机载临时超前支护装置，实现掘、支平行快速作业。设备具备无线遥控、远程监控、可视化集中控制、人员接近识别、故障自诊断，以及工作面环境状态识别及预警等功能。

实现了设备的集控、就地和远程控制，设备停送电、炮头截割、一运、二运、除尘风机、皮带输送机等协同控制，在地面做到了远程一键启停及监测监控。

3. 综采系统

装备的采煤机具备记忆截割、位置定位、远程控制、姿态控制等功能；刮板输送机、转载机电机采用变频一体机；液压支架配备电液控制系统，可自动跟机控制，并具备远程控制、支架全姿态监测等功能；乳化液泵站采用远距离集中供液方式，具有流量调节功能，实现高压自动反冲洗、自动配比补液，高低液位自动控制；工作面配备全方位移动通信系统及可视化视频监控系统。

智能化集中控制系统实现了集控、就地和远程控制，采煤机、液压支架、刮板输送机、皮带输送机等协同控制，在地面做到了

远程一键启停及监测监控。工作面设备可以做到无需人员操作，只需人员巡检干预即可实现整个采煤工作。

4. 主运输系统

带式输送机主驱动采用永磁同步电机变频驱动，具备变频调速功能；煤仓安装准确测量煤位传感器，给煤机能受带式输送机控制系统实现自动控制。煤流运输系统实现分布状态实时监测，具有系统自检功能；具备远程和就地集中控制及远程一键启停功能，实现无人值守。

5. 辅助运输系统

架空乘人装置实现了地面集控中心与现场实时对讲，现场故障实时语音反馈、人机自动开停、集控中心远程电力监控等功能，实现了无人值守。

无轨胶轮车调度系统实现了地面、换装站及车辆实时对讲，车辆精准定位，对出入井物料进行统一编码，实现车辆运输的统一调度及实时跟踪。

6. 通风系统

主通风机监控子系统具有风压、风速、震动、电机电流、转速及功率、定子绕组温度、轴承温度等监测、显示、报警、存储等，具备通风机房、集控室远程控制功能。

局部通风机采用变频控制，实现不停风倒机功能，可根据工作面瓦斯情况实时调整供风量，为智能通风联动提供条件，具备就地控制及远程监测监控功能。

7. 供电系统

建设智能供电综合保障系统，具备智能选择性漏电保护及井上下防越级保护功能。系统实现状态参数显示、巡检、故障录波

存储、故障分析、智能告警等功能，可对峰谷电量与能耗统计分析、电能质量监测及集中控制，实现所有供电点的无人值守。

8. 压风系统

压风系统具备供风压力、电压电流、设备运行工况、环境参数等在线监测功能；具有压风机欠压自动投切功能。采用集中控制，实现无人值守。

9. 排水系统

主排水系统具备水仓水位、排水流量、设备运行工况、环境参数等在线监测功能；具有水泵自动轮换、全自动排水功能，实现无人值守。

10. 安全管控系统

建有智慧矿山平台透明矿山模块，系统对各类灾害数据进行分析判断，实现灾害的预测预警分析及灾害应急救援。

11. 智能园区与经营管理系统

建设矿区各类门禁系统，完善矿井安防布置，建有 OA 协同办公及 ERP 等系统，初步实现智慧园区统一管控及产营销一体化管理。

二、技术特点及先进性

1. 保障措施

（1）组织保障

建立智能化矿山领导小组，帮助与协调解决构建东江煤矿智能化过程中的相关问题；督促与协调各部门资源，加快建设力度；组建智能化管控中心，培养复合型人才。

（2）资金保障

东江煤矿智能化矿山建设从 2018 年开始至 2021 年底完成，

建设项目共计投入资金 16913 万元；2022-2025 年新建设智能掘进工作面一个，智能综采工作面一个，建设完善各类智能化系统及功能，预计需投入资金 13680 万元，已投入资金 10847 万元。

（3）制度保障

坚持和完善智能化矿山建设制度管理与执行，不断推动制度优势转化为执行效能。加强考核管理力度，保障制度落在实处，确保智能化建设顺利完成。

（4）人才保障

加强智能化人才队伍建设，加强对工作人员的信息化、智能化知识培训，着力培育一批复合型人才，建设知识型、技能型、创新型人才队伍。

2. 技术先进性

（1）东江煤矿智能化建设遵循“整体规划、分步实施”的原则，建立一套智能化建设的标准体系，以万兆工业环网+4G 网络为数据传输通道，以智慧矿山平台建设为基础，采用大数据分析、云计算、数字孪生、虚拟人人机交互等先进技术手段，建设智能矿山。

（2）综采工作面智能化应用落地，东江煤矿依托目前通用型智能化综采工作面控制程序，开发建设综采工作面“安全防护机制”及“联动逻辑控制库”，优化控制防护功能（集控室操控台一键移架、推溜、护帮伸缩梁联动实体按键，自动跟机状态下丢架丢动作时，可自动选架，确认后可直接远程控制；自动跟机状态下，推溜动作需三架全行程同时动作；自动跟机状态下具备动作安全防护功能，具备未移架不推溜防护、煤机范围内不伸收护帮伸缩梁防护、采煤机位置校验防护、丢架丢位置报警防护（上

位机单独弹窗显示实时报警列表，具备与支架操控台及视频操控台联动功能）、自动补压防护（判断邻架高差，超过 10cm 停止补压）等），完善采煤机与支架协同控制功能，保障智能化综采工作面的稳定可靠运行及强适应能力和高应用能力。

（3）基于全矿服务的数字孪生平台，利用 BI、AI、BIM、GIS 技术，依托智能化数据精准采集、网络化传输、规范化集成；建立统一的集成控制平台，实现生产全过程一体化智能控制、经营全流程一体化协同管理；建设基于大数据分析的安全生产协同系统，实现系统设备故障提前预判、精准诊断，虚拟人交互更快捷汇报矿井实时生产动态等功能，为一矿一系统的应用提供基础保障。

三、智能化建设成效

1. 建设成效

（1）智能化让煤炭开采更加安全

智控中心 24h 显示井下采掘设备、通风、运输等实时数据，分析判断当前井下的生产状态，全矿安全生产各类实时数据一目了然，井下生产更为立体、直观。综合调度、生产管理、机电管理等模块系统多维关联，实现了各系统设备的远程自动化控制及“监、管、控一体化”全流程数字化运行。

（2）智能化让煤炭开采更加高效

东江煤业正在加快数据、系统平台与应用的融合，在数据采集、网络系统平台搭建、控制系统决策化等方面发力。实现矿井井上、下各类固定岗位减少人员 124 人。其中：综采工作面由原来单班 12 人减至 10 人，综掘工作面由原来单班 12 人减至 8 人，年节约人员工资支出 1600 余万元。

2. 建设亮点

（1）决策化无人值守

通过对各子系统的功能优化改造，建立完善的运行安全防护机制及逻辑防护，使系统具备基本决策能力，为人员提供方便快捷的操控及稳定可靠的功能保障，形成系统自主运行、人员辅助决策模式，降低操控人员劳动强度。

（2）集成化智控中心

建设高集成化智控中心，所有远程控制系统集中统一管控，由两名值班员担负全矿所有系统的控制及监测，充分发挥一岗多责的运行新模式，取缔原有的各工区负责各自系统控制的方式。做到控制集成化、人员简约化，同时为复合型人才的培养提供有力保障。

（3）规范化数据接入

至2019年起，统一对各类底层数据传输进行规范化要求，工控类系统采用前端控制器采集数据；监测类系统采用数据库采集数据；视频采用流媒体采集集成等要求，逐步完成数据接入的规范化，实现了数据可控及可利用性，为数据融合分析提供保障。

（4）融合型数字孪生

建设集系统监测监控、故障分析、大数据分析预警及安全管控等功能于一体的融合型数字孪生平台，实现全矿井实时动态可视化，各类数据融合展示及关联判定。

第五章 其它智能化系统建设

案例 39 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 Wi-Fi 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

（一）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

（二）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。

（三）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

（四）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

（五）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。

（六）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。

（七）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。

（八）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 40 高河能源智能供电系统

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。

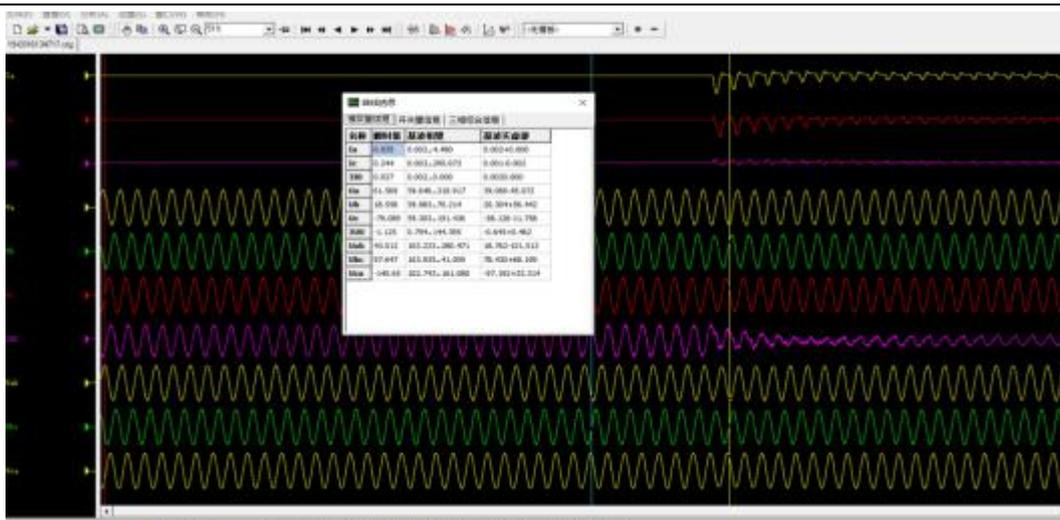


图 5 故障录波分析



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



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

（一）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。

（二）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。

（三）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。

（四）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。

（一）实现了变电所可视化、无人化、智能化建设。

（二）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%。

（三）通过能效智能分析和辅助决策，每年节约电能 4%。

（四）形成一套经过检验的智能电网的平台体系。

（五）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 41 王家岭矿全矿井 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王家岭矿

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。

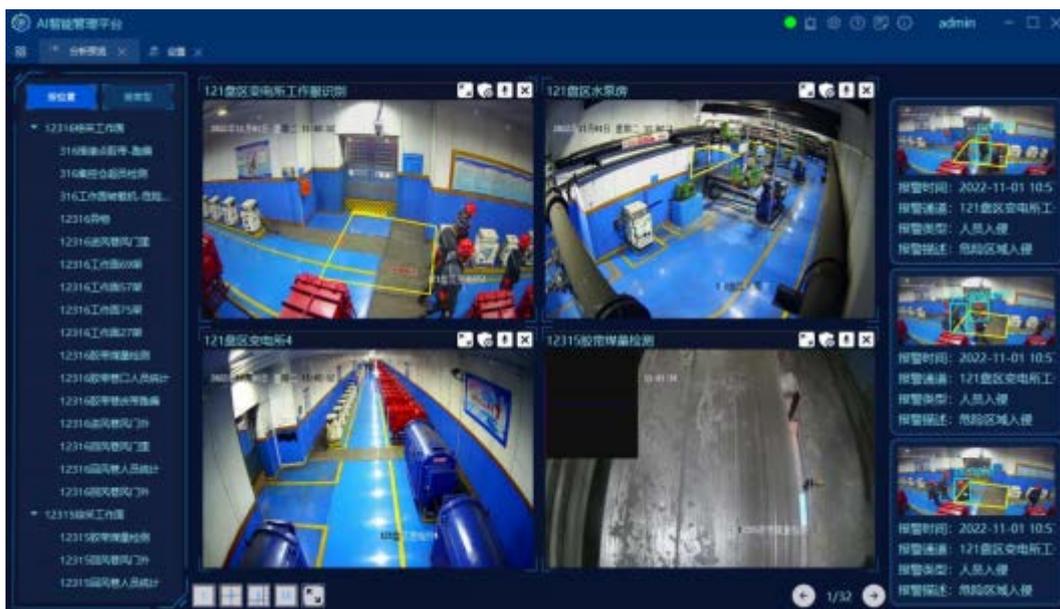


图 1 AI 智能管理平台

(三) 工作经验

1. 下发 AI 视频管理办法，对 AI 摄像机安装位置、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。

(一) 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。

（二）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。

（三）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。

（四）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 42 王坡煤业煤流智能协同管控系统

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）矿井概况

山西天地王坡煤业有限公司（以下简称天地王坡）隶属于中国煤炭科工集团有限公司，建设规模 300 万吨/年，配套建有选煤厂和铁路专用线；井田面积 25.35km²，开采 3#、15#煤层，地质储量 2.1 亿吨；井田水文地质条件中等，煤层不易自燃，煤尘无爆炸危险性，无冲击地压危险，属高瓦斯矿井；现布置有两采五掘，分别为 3206 和 3308 综采工作面、3211 高抽巷、3217 回顺、3219 回顺、3303 运顺、3307 工作面小煤柱试验巷道掘进工作面，六大系统运行稳定可靠。

（二）建设内容

1. 建设情况

天地王坡为生产矿井，井下主运输采用带式输送机连续运输方式。主运系统设备组成如下：集中主运巷二部皮带→集中主运巷一部皮带→给煤机→主斜井皮带→101 皮带→102 皮带。



图 1 主运系统组成图

智能化主煤流系统以“KTC199 矿用通信控制装置”为核心，主要建设内容包括主煤流系统中各带式输送机的单机自动控制、

多机协同联动、远程集中控制、运行工况检测及故障智能预警等功能；基于 AI 煤量智能识别、人员违规作业智能监测、大块煤/堆煤/异物识别与预警等功能，实现带式输送机的智能、安全、高效运输。

2. 主要内容

在主斜井、主运一部、主运二部各设置 1 套 KTC199 矿用通信控制装置，分别控制 102/101/主斜井、主运一部、主运二部带式输送机。在带式输送机机头驱动部设置 KXH18(C) 矿用本安型可编程控制器，实现带式输送机就地控制；各胶带机按规定配置急停闭锁开关、急停扩音电话、跑偏传感器、烟雾、速度、堆煤、张力下降、纵撕、超温洒水等保护装置。

主煤流运输系统中沿线煤流基于 AI 识别实现分布状态实时监测和带式输送机变频调速功能，具备调速模型的优化功能，实现煤流平衡。主斜井、主运一部、主运二部、101 皮带均采用变频驱动模式。井底煤仓结合煤仓煤位信号，实现煤仓、给煤机、带式输送机的联动控制。

矿井在主运带式输送机建设有智能 AI 识别系统，该系统由矿用本安型网络摄像机（简称摄像机）、矿用本安型结构光发射器（简称结构光）、矿用本安型控制箱（简称控制箱）、矿用隔爆兼本安型多路电源等产品构成。矿井在主运系统集中主运巷各联巷口安装有视频监控系统，对于所有经过联巷进入主运巷人员进行动态监测，发现人员进入主运系统或有违规跨越皮带等行为立即弹窗报警。

系统建设了机电设备在线监测与故障智能诊断系统，实现设备运行状态数据的实时显示、趋势分析、智能诊断、报警查询等

功能。云端平台主要为数据共享、远程专家协助、大数据分析等提供技术支撑。

主煤流运输系统配备巡检机器人。通过机身搭载的摄像头、红外热像仪和声音收集器等装置实现对巡检范围内各类设备的图像、温度、声音、烟雾等数据的采集。

3. 工作经验

（1）补短板。主运输系统运输距离长，设备多，故障点多，任何一个设备发生故障将导致煤矿整个生产系统停产。本项目全面梳理了运输系统机电设备，对部分使用年限长的设备进行了更新，提升了系统整体稳定性。

（2）减人提效。天地王坡通过建设智能主煤流系统，实现井下固定岗位减人15人。智能主运输系统通过高度集成控制，多点感知预警等手段正在逐步接替井下各固定值守岗位。同时通过智能变频调速运行，大大降低设备运行的能耗，降低运维成本。

（3）新技术实现系统智能化。AI智能感知、巡检机器人、故障诊断等技术的应用，实现了主运底层感知的全覆盖；数字化通信控制装置实现了长距离、大运量、变频电磁环境下的控制系统可靠运行；主运协同控制技术实现了系统高效运行。

二、技术特点及先进性

（一）人机环全面感知，实现主运安全运行

煤流运输系统设备串行布置，沿线范围大、环境复杂、参控设备点多、转载环节多、运输物料不规则容易掺杂异物等因素，导致整个煤流系统故障点较多，且运输系统环境复杂导致工况感知困难。本项目采用主运增强感知对主运关键运行工况进行实时、准确、稳定地检测、度量和分析，以解决传统物理性传感器在井

下恶劣环境中不可靠、精度低、功能单一等问题。对可能出现的任何异常情况尽早发现、尽早处理、并在事后重点分析，从而为实现煤矿自动化的无人值守提供了必要的条件。



图2 主煤流异物识别

（二）国内首套数字化通信控制装置，实现主运可靠运行

随着煤机大型化的发展，单条皮带装机功率越来越大，皮带长度越来越来，胶带机监控系统的电磁环境越来越恶劣，导致监控系统易受干扰。KTC199 矿用通信控制装置是国内首套全数字化通信控制装置，基于全数字化的 FCS 分布式控制架构，采用模块化、标准化、本安化、平台化设计，融合数字传输技术、开放式可编程控制技术、数字语音扩播技术，实现煤矿煤流运输系统智能通信、检测与控制。

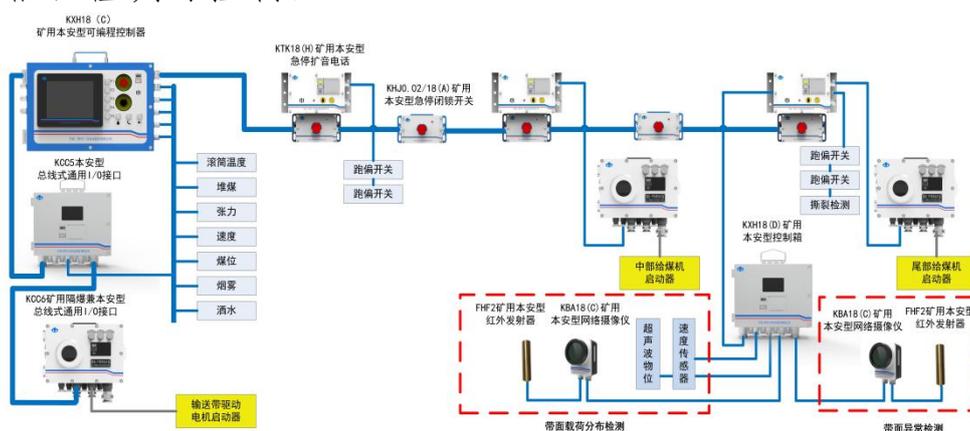


图3 KTC199 矿用通信控制装置

（三）基于载荷分布检测的主运协同控制，实现主运高效运行

系统实现主煤流协同经济运行，以全煤流线所有设备为控制对象，采用多点感知融合技术，根据来煤和载荷分布情况，应用协同控制策略模型在保证全线不洒煤的前提下实现煤多快运、煤少慢运的协同经济运行。



图4 主煤流协同控制系统

该成果所有产品自主研发，形成知识产品成果包括：授权发明专利4项，授权外观专利1项，登记软件著作权2项，发表论文3篇，基于机器视觉的多传感融合平台及其应用经中国煤炭工业协会专家鉴定，研究成果达到“国际先进”水平。

三、智能化建设成效

通过上述带式输送机运行工况及环境的全面智能监控，实现了主运系统无人值守的常态化安全运行，主运系统运行班由原来的每班14人减少为9人，且大大降低了工人的劳动强度，由井下工作到地面办公室工作，提升了工作环境。针对系统运行能耗高的现状，采用大功率变频装备改造，主运输煤流均衡控制技术，实现了带式输送机根据煤量自动调速运行，顺煤流启停等协同控制功能，降低了系统运行能耗。

案例 43 麻家梁煤矿基于煤矿 5G 的智能巡检机器人应用与实践

主要完成单位：大同煤矿集团轩岗煤电有限责任公司麻家梁煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

晋能控股煤业集团浙能麻家梁煤业有限公司成立于 2008 年 8 月，晋能控股集团与浙江能源集团共同出资组建，矿井核定能力 1200 万吨/年，井田位于朔南矿区东南部，行政区划属朔州市朔城区。

麻家梁井田面积 104.2924km²。矿井剩余地质储量 25.9 亿吨，可采储量 13.2 亿吨，可布面储量 7.5 亿吨，矿井核定能力 1200 万吨/年，服务年限约 65 年

（二）建设内容

2020 年，麻家梁矿制定了《智能化矿山建设三年规划》，根据《规划》要求，麻家梁矿计划自 2020 年起，利用三年时间，围绕煤矿智能综合管控平台、智能装备和机器人、煤矿大数据、5G 技术应用四大方向持续推进，推动人工智能技术与现代煤炭开发利用深度融合。

信息基础设施方面，麻家梁建设了数据机房、虚拟资源池、万兆环网、5G 网络和防火墙、行为记录等安全防护设施，结合海康、力控等数据采集、控制软件，为煤矿智能化建设打下了坚实基础。

智能综合管控平台方面，麻家梁建设了矿山云图应用系统、

智能化矿山数据集成平台、矿山智能决策分析中心等综合管控平台。系统通过统一标准，利用网络、GIS、云计算、大数据等技术，实现各类数据的采集、存储与决策分析应用，为各智能化子系统的建设搭建了基础框架和平台。

地质保障系统方面，麻家梁建设了地质 4D GIS 平台、透明矿山高精度地质建模、三维地质模型空间分析系统、地质数据分析与隐蔽致灾预警系统，为煤矿智能化提供地质数据存储、转换、管理、查询、分析和可视化服务。

掘进系统方面，麻家梁建设了智能化综掘工作面。建成的智能综掘工作面具备自主导航、坡度追踪和自动截割功能，具备远程控制、在线监测和故障诊断功能，能够实现一键启停功能。

采煤系统方面，麻家梁矿已建成 3 个智能化综采工作面，通过了山西省能源局的智能化验收工作。通过智能化综采工作面的建设，采煤机、刮板机、皮带输送机以及供液系统和供电系统进行综合检测和控制，加快生产速度、提升自动化程度和控制质量、减少操作劳动量和人工控制的随意性、不确定性，从而提高了生产效率，加强了人员、设备安全保障。

主运输系统方面，麻家梁建设了主煤流智能化升级改造项目和主运输皮带视频 AI 识别及电机设备在线监测与故障诊断系统。智能主运输系统将主运输涵盖的各个皮带保护、CST 控制器、变频器、工况环境等基础数据进行集成，对主运皮带进行建模分析，动态监测系统生产过程，实现智能协同控制，达到节能降耗、安全高效的目的。

辅助运输方面，麻家梁建设了智能辅助运输系统。采用高精度定位（静态 0.3m、动态 7.3m）与真实比例二维矿图相结合的原

则，结合超速、闯红灯监测等手段，实现车辆资源及安全行为可视化监控；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。

通风系统方面，麻家梁建设了智能通风系统，能够实时监测风量、负压、全压、动压、电流、电压、振动、温度等数据，能够远程控制风机启停，具备一键反风、一键倒风功能。

压风系统方面，麻家梁建设了压风自动化控制系统，所有压风机均实现运行智能监控、一键启动、故障自动停机，具备远程集中控制功能，单台压风机根据设定压力限值实现自动加、卸载；通过对空压机温度、压力等数据进行智能监测，故障自动报警、程序流程停机。

供电系统方面，麻家梁建设了智能供电系统，对高压系统和低压系统进行智能化改造，高压系统的高压开关内保护器具备防越级保护功能，把变电所内的防越级高开综合保护器以RS485/CAN方式接入矿用隔爆兼本安型电力监控分站，低压系统将井下各变电所的低压馈电及照明综保接入整个供电平台，变电所和地面监控中心实现了“五遥”功能。

排水系统方面，麻家梁建设了中央水泵房自动化控制系统、智能排水系统、中央变电所巡检机器人系统。通过系统建设，将各个泵房进行联网，根据水泵开停状态、排水量、水仓水位等参数与主要泵房进行融合监测，实现泵房的一键启停、远程自动启停。

智能安全管控系统方面，麻家梁建设安全监测系统、水文监测系统、束管监测系统、光纤测温系统、智能防尘系统、矿压监

测系统、安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防系统、故障诊断系统，实现了对各类灾害的实时监测、预警及统计分析，并为单兵配备了精准定位卡、移动防爆终端，实现了人员定位定位及实时互联互通等功能。

智能园区与经营管理系统方面，麻家梁建设了智能化调度中心，并将各类子系统融入了矿山数据集成平台和智能决策分析系统中，实现对通风、地测、生产、机电、安全等业务的在线闭环管理，实现了基于煤矿大数据的智能决策分析，实现了对井上井下各系统的统一协调管控的目的。

二、技术特点及先进性

麻家梁煤业公司自主建设了井下5G专网网络，自主建设本地5G核心网、5G传输主干，搭配井下部署的5G无线基站，共同组建起一套完整的5G网络，达成5G数据传输不出园区。井下5G基站已安装完成并开通网络服务共计46台，网络速率经测试峰值速率可达下行800Mbps，上行130Mbps。5G网络覆盖范围包括中央变电所、机头变电所以及西辅运至1900米、西辅运南延至1000米、西辅运大巷至900米、东辅运至2500米、五采区至3800米、副井提升、主井提升底、智能化综采工作面等区域。

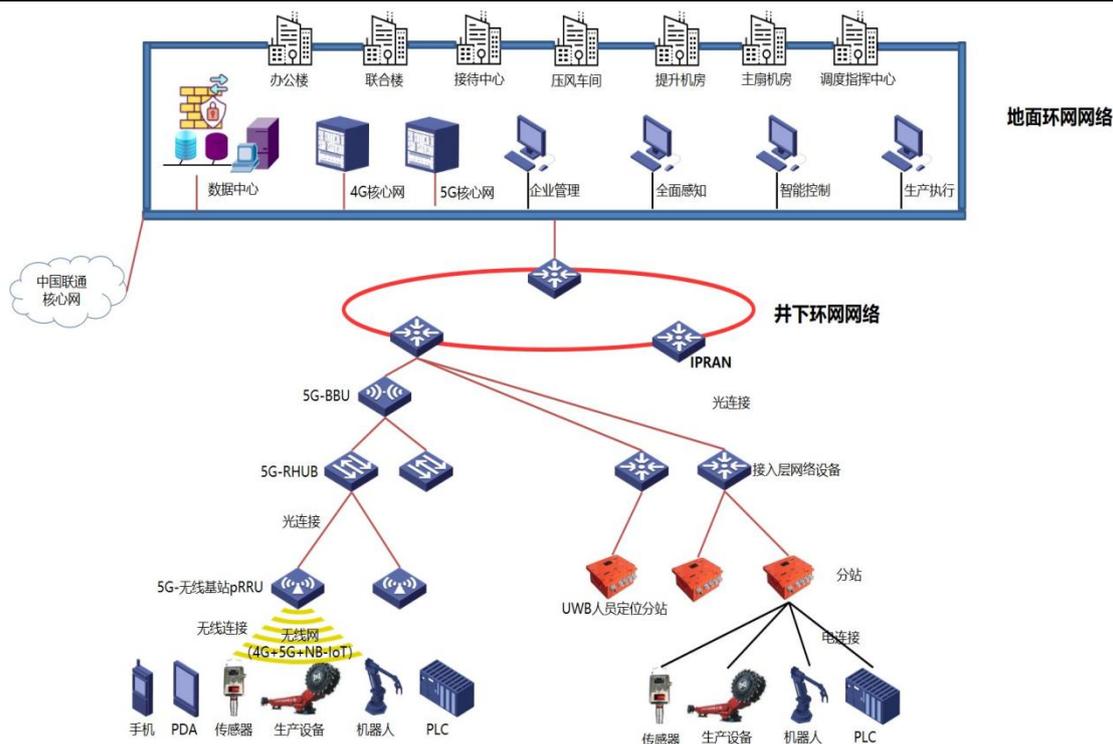


图 1 5G 网络拓扑

麻家梁煤业公司共部署了主井 2#提升机房轮式巡检、中央变电所轨道式巡检、西采区主运输皮带机轨道式巡检等三个场景的巡检机器人。

（一）主井巡检机器人

主井提升 2#车房轮式巡检机器人机器人本体搭载着多种传感器，实时采集可视范围内现场的图像、声音、红外热像及温度数据等参数，高清无线视频亦可传输，辅助机器人运动控制和云台遥控。巡检机器人经过实际场景建模以及巡检内容 AI 学习后具有智能识别功能，采用智能感知关键技术算法，准确判断设备当前运行状态，对现场设备运行情况完成抱闸和地面油渍泄露情况巡检、电机轴和闸盘的温度超限状态检测、温度和压力表盘的示数状态巡检以及开关闭合状态检测等巡检任务。



图2 主井巡检机器人

（二）中央变电所巡检机器人

中央变电所巡检机器人采用轨道式引导进行巡检，通过捕捉设备辐射的热红外线，能够准确检测设备表面的温度数值，并形成热视图像，直观展示设备温度分布情况，快速定位高温故障点。搭载气体传感器，用于检测环境中一氧化碳、甲烷、硫化氢、氧气等气体浓度，实现超限预警。搭载烟雾探测传感器，检测环境中烟雾浓度，超限预警，防止火灾事故的发生。搭载高清摄像头，

通过视频分析的方式巡检中央变电所现场高压、低馈等设备显示出的运行状态，结合日常巡检内容进行分析告警。

在中央变电所部署的巡检机器人采用轨道式引导进行巡检，能够准确检测设备表面的温度数值，形成热视图像，直观展示设备温度分布情况，快速定位高温故障点；能够检测环境中一氧化碳、甲烷、硫化氢、氧气等气体浓度，实现超限预警；能够检测环境中烟雾浓度，超限预警，防止火灾事故的发生。



图3 中央变电所巡检机器人

（三）胶带巡检机器人

西采区主运输胶带巡检机器人采用轨道式引导进行巡检，巡检全程达 1600 米，机器人本体及作业区域采用无线化系统部署方式，只有其安装于作业区域外的无线通讯基站工作通过单条光缆与万兆环网进行有线对接，部署简洁。可自动循环充电，可在地面远程控制。机器人巡检过程中可实现皮带跑偏故障智能识别、声音异常识别、红外热像图采集及温度异常报警、移动图像采集、环境探测、自主避障、人员闯入报警等功能。





图 4 胶带巡检机器人

多场景巡检机器人系统的投入，在有效地减轻基层员工的劳动强度的同时，也降低人工巡检的安全风险，实现有效、可靠巡检，突出“高起点”、“高技术”、“高质量”、“高效率”、“高效益”等五高方针，充分利用现有资源，在技术先进的基础上，做到经济实用，提升矿企矿区的本质安全与生产管理水平。

三、智能化建设成效

以减员为目标，对固定场所、智能化工作面进行升级改造。在不影响安全生产的前提下，提高机器设备的自动化、智能化水平，可以达到减人的目的。目前麻家梁已对中央水泵房改造项目、中央变电所改造项目、压风制氮车间、主扇通风车间、主煤流系统、主排水系统进行智能化改造工作，最终实现远程控制、无人值守、有人巡检的目的。

以提效为目的，建成的精准定位系统基于矿井坐标 30cm 精度实现了对人和车辆的高精度定位，实现井下无轨胶轮车的数字化和智能化管理。通过应用智能化辅助运输管理技术，无轨胶轮车

汽柴油等能源消耗预计平均减少约 20%，整体运行效率提升 30% 左右。

以增安为目标，建成的一张图智能管控平台，整合“采、掘、机、运、通”和“水、火、瓦斯、顶板”等业务数据，接入安全监测、人员定位、工业视频等作业环境物联网感知数据和运输、通风、排水、压风、供配电等生产系统监测数据，实现生产过程、环境监测、设备感知等各类系统集成，为企业安全管控、监测预警和风险分析提供数据支撑。

以降低劳动强度为目的，建成的智能化综采工作面单班人员控制在 14 人以内，人员减少的同时，提高了设备的开机率，智能化综采面割煤自动化率达到 85%以上，设备开机率达到 85%以上，采煤机、支架实行远程干预并常态化运行。

案例 44 开元矿业智能气力输送系统

主要完成单位：阳煤集团寿阳开元矿业有限责任公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

开元公司矿井位于寿阳县城西北约 14km，井田位于沁水煤田寿阳区氧化带边界，地表属黄土丘陵地貌，井田面积 27.903km²，地质储量 2.9 亿吨，设计可采储量 1.2 亿吨，煤层整体呈北高南低单斜走势，平均倾角为 6°。现核定生产能力为 300 万吨/年。

矿井属煤与瓦斯突出矿井，经鉴定 3#、9#、6#、15#煤层自燃倾向性为 III 类不易自燃，具有煤尘爆炸性，水文地质类型属中等。

（二）建设内容

智能气力输送系统

为满足井下巷道膏体充填要求，最大效率发挥进风立井提研效率，安全效益以及高标准智能化矿井建设、后期巷道沿空留墙的角度考虑，有必要建立一套建材智能气力输送系统，以保障矿井的安全、高效、快速建设、高质量发展。在米家庄北工业广场建设一套建材智能气力输送系统。系统主要包括地面工作站、输送管道、中转站、工作站，利用气力输送高质量建材预混料，采用 PLC 和工业 PC 结合的集中控制系统，结合 WEB 方式 SCADA 软件的应用，能够实现智能化的巷道支护材料传送和喷浆或充填。

系统输送工艺如下：通过水泥散装车将水泥运送到地面站，通过气体将水泥压送至地面站的筒仓。压风机的气体经过干燥机后，形成干冷的压风作为系统的动力。筒仓内的水泥利用压风动

力，通过地面站的串联发料器交替向井下第一个中转站发送，通过履带式远程喷浆机提供给膏体充填泵。由膏体充填泵将水泥和破碎后的煤矸石搅拌混合制备成料浆后，通过管道在终端实现远程采空区回填。

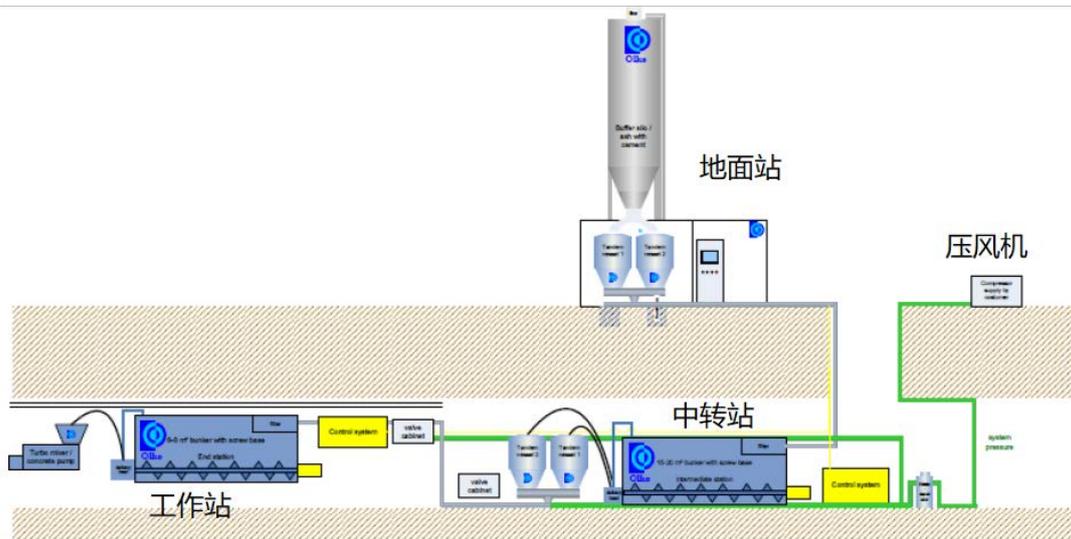


图 1 智能气力输送系统工艺架构图

二、技术特点及先进性

系统主要包括地面工作站、输送管道、中转站、工作站，利用气力输送高质量建材预混料，采用 PLC 和工业 PC 结合的集中控制系统，结合 WEB 方式 SCADA 软件的应用，能够实现智能化的巷道支护材料传送和喷浆或充填。

三、智能化建设成效

（一）减少辅助工，降低人工成本。由于采用全封闭全过程智能化运输，除地面站和工作站外无需人力参与，大幅减少了辅助运输所需要的上料、运输劳动力。同时由于远距离履带式喷浆机的使用，使得喷浆所需的搅拌、上料、喷浆人数也大幅降低，减少了人力和用人成本。

（二）解决辅助运输瓶颈问题。随着矿井巷道的延伸，辅助

运输压力越来越大，本系统可减少辅助运输环节，实现物料输送自动化，可大幅改善辅助运输瓶颈问题。

（三）减少设备成本。减少了辅助运输设备的投入量，减少了设备成本、维护成本、运行成本。

（四）大幅减少安全风险。矿井的安全尤为重要，由于系统减少了人机环节，减少了辅助用工和其他设备的使用，实现安全效益最大化。

案例 45 高河能源智能通风系统

主要完成单位：山西高河能源有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

高河能源是由潞安化工集团和泰国万浦集团共同出资、潞安化工集团控股的中外合作企业。矿井于 2012 年 6 月建成投产，核定年生产能力 750 万吨。

高河能源主采 3#煤层，平均煤厚 6.7 米，可采储量为 3.18 亿吨；矿井井田南北长约 13.4 公里，东西宽约 4.9 公里，井田面积 65 平方公里；采用立井开拓方式开采，低位放顶煤，埋深 480 米~560 米。煤种为低挥发分的烟煤和半无烟煤，煤质具有低灰、特低硫、中高发热量的特性，发热量 5700~5800 大卡，是优质的动力用煤、炼焦配煤和高炉喷吹用煤，被用于制定中国喷吹煤的标准煤。煤尘具有爆炸性，自燃倾向性等级为 III 类，属不易自燃煤层；矿井水文地质类型为中等，矿井属高瓦斯矿井；矿井辅助运输采用“电机车+无轨胶轮车+单轨吊”模式。

（二）建设内容

智能通风系统包含智能通风软件平台和通风设施智能化子系统两大部分。包括主通风机无人值守改造项目建设针对高河矿中央、小庄、鲍村、酒村四个主通风机房进行远程集控无人值守改造，最终达到智能煤矿技术标准建设要求，实现了自动、手动、授权远控三种控制方式，具备一键倒机、故障自动切换风机、反转反风、无人值守等功能。结合智能通风管控平台以及局部通风

系统、风门、风窗等子系统在内的各子系统的全面智能化升级改造，共同构成全矿井智能通风分析、解算、决策与集中控制调风控风安全避灾的闭环系统，实现了矿井通风管理数字化、决策信息化、控制管理无人化的新的通风管理体制。实现了对主通风机系统的数据采集、决策指挥的信息化、集中化，为预防和处理各类突发事故提供有效手段。

1. 建设情况

结合高河能源当前智能矿井系统建设情况，通过技术升级改造高质量实现智能煤矿建设目标，我矿聚力公司整个通风系统智能化建设与应用，以数据收集、数据挖掘、数据分析为支撑，以智能解算与三维建模为核心，通过现场软硬件升级，实现整个通风系统的智能解算与智能决策，并能够进行决策模拟与灾害模拟，实现了通风系统全系统的集中监控与集中控制，完成了高河能源智能通风系统的建设工程，构建了高河通风系统一个平台、一张图、一张网、一中心的集中管控与智能决策的通风管理新模式。

（1）一个平台：建成了智能通风综合管控软件平台，完成了矿井通风三维模型的建立。

（2）一张图：结合自身技术特点，建立以高河矿本部为中心的，各风井的通风状态的中心总览图，图上实施显示各风井的通风设施设备运行数据等核心信息，并且能通过总览图和各风井间进行交互。

（3）一张网：在各风井增加网络交换设备，沿用公司骨干网络将数据连接至集中控制室，将整个高河矿主通风机系统形成自己的子系统网络。

（4）完成远程监视与控制的技术改造并接入通风软件平台集

中管控。改造完成调解风窗一套，实现一点的风窗远程调控和集中监测与控制。

(5) 完成主要通风机的改造，通风机房的高、低压配电系统升级改造达到智能化要求，通风机的“一键启停”、“一键反风”、“自动倒机”以及远程监控监测改造，实现无人值守。

(6) 完成局部通风机接入平台一套，进行集中管控，数据分析，工况管理，并根据工况环境自主调风。

(7) 超声波精准测风系统完成一套，实现全断面精准测风，实现通风状况精准感知。

2. 主要内容

智能控制中分析和决策系统是整个项目的核心部分，由分析和决策两个子系统组成：分析子系统通过对自动采集到的矿井大气的各个参数的分析，对整个通风系统进行智能解算，形成智能决策，决策系统发出指令，通过执行系统来执行。执行系统通过改变主扇风量和区段风量，改变通风构筑物的通过断面来实现，借以有效的按需调节各巷道的风量分配。了解清楚该矿井风量调节的逻辑关系，根据这个逻辑关系进行计算机编程，通过计算机分析软件和通风控制软件结合，调节矿井通风，最终实现计算机对矿井通风系统的分析，再根据分析结果，对矿井通风进行智能调节，利用测风系统回馈的数据，智能解算再运算后进一步给出调风策略，形成闭环的智能调风网络。软件的控制部分包括主要通风机的集中控制与监测、局部通风机系统的集中监控与自动调控、风门风窗的远程监视与远程调控以及一通三防子系统的数据接入分析与远程监控。

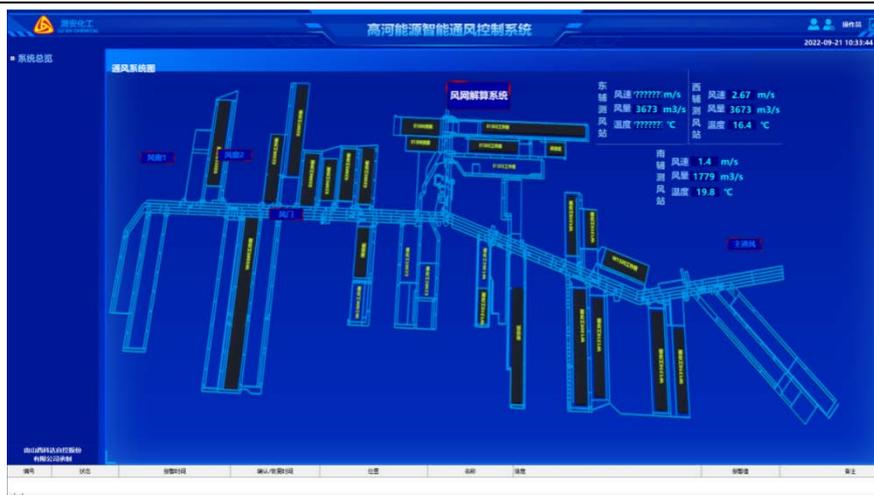


图1 智能通风控制系统（综合界面）

此系统通过监测全矿井通防各子系统相关点的风速、风量、瓦斯、温度、粉尘等相关参数，并上传到矿井通风监测中心来控制矿井主通风机、局部通风机、风门、风窗等相关设备和设施，对矿井通风系统进行自动调控，达到按需供风、避免矿井出现风流紊乱、风量不足、过度通风灾变时的风流调节及合理的选择避灾路线的目的，实时改变全矿井或局部工作面的通风情况，同时还能对主扇通风机、局部通风机、风门、风窗进行故障诊断，对矿井通风区域的风流实施远程调度与监控。



图2 重点场景视频监控

主要通风机是整个矿山通风最为重要的通风设施之一，建设中，将主要通风机进行了智能化无人值守的技术改造，将全部主

要通风机集中在一个平台进行综合管控与检测，同时利用网络与信息技术，以及硬件的升级改造，使得主要通风机实现了一件反风、一键启停、一键倒机的功能，大大减少了主要通风机系统的管理人力。

同时，该系统融合了“一通三防”相关的检测监控数据并建设了可以远程控制和就地自动控制的区域防灭火系统和智能防尘系统、光纤测温系统、束管实时在线监测系统、瓦斯灾害安全监测系统数据的实时读取等，完成安全监测数据与井下测风数据的大数据融合分析，实现矿井通风安全的预警预判及连锁控制功能。

二、技术特点及先进性

智能通风系统本次建设与研究中汇集了软件方面、通风方面、流体力学方面、矿山安全方面、自动化控制方面的多名全国顶尖级专家的经验与智慧，进行了大量积极探索、谨慎验证。突破了多项关键技术，使得高河能源集团的通风管理技术方面迈上了一个新的台阶。具体突破的关键技术包括如下几个方面：

（一）通过智能解算手段，颠覆了通风系统的管理模式；通过智能通风系统软件平台，实现了矿井通风的智能实时解算、建立了完全还原矿井实际的三位方针通风模型。实现了一通三防全体系的集中监测与调控。通过软件平台的智能解算与智能决策、提前模拟，实现了通风系统管理的数字化、信息化、智能化。



图 3 三维通风网络图

（二）通过主要通风机系统的智能化改造并与管控平台的融合，实现了主要通风机系统无人值守、一键启停、一键倒机、一件反风的控制功能，彻底实现了主要通风机无人值守，达到减人提效的效果。



图 4 主通风机集控中心

（三）通过与管控平台的融合，还能够实现对主要通风机系统任意时刻的工况分析，使主要通风机保持工作在最佳的工况下，极大提高了风机设备的使用寿命，降低了能源消耗。

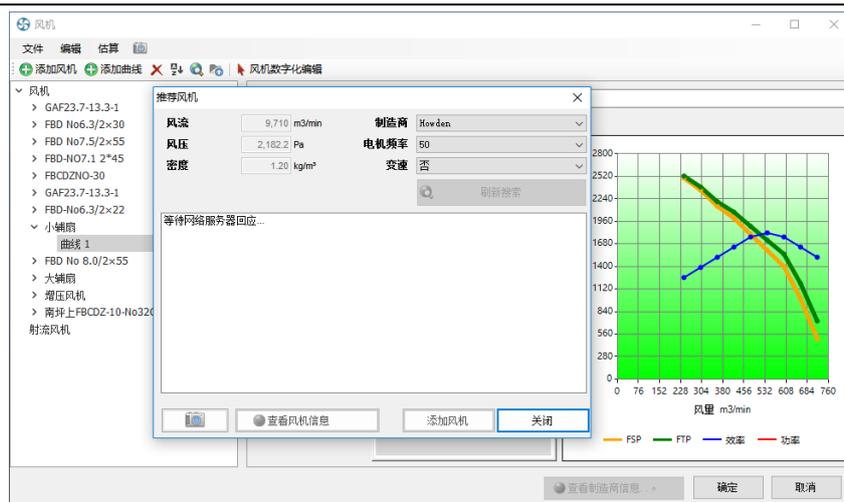


图 5 主通风机工况分析平台

数字孪生系统为国产自主研发，专利号为 2022SR0061086，依据现场建筑物外观及内部、所有系统设备进行 1:1 的 3D 建模，完全还原现场设备的实景状态，有较真实的交互效果，现场设备的所有数据都能通过数字孪生系统进行查询及交互，现场所有视频信号也可以通过数字孪生系统进行调用，达到了虚实结合的交互模式，仿真系统具备手/自动巡检功能，并且可以通过实时数据的接入完全做到数字孪生系统和实际现场系统的联动。



图 6 主通风机可视化决策系统

（四）完成了局部通风机系统的变频改造，并通过与通风管控平台的融合，实现了局部通风系统的智能调控与无人值守功能，系统可以根据瓦斯监测数据与风速监测数据智能进行通过调整变

变频器频率来实现风量调控以及主备风机的自动无人切换。

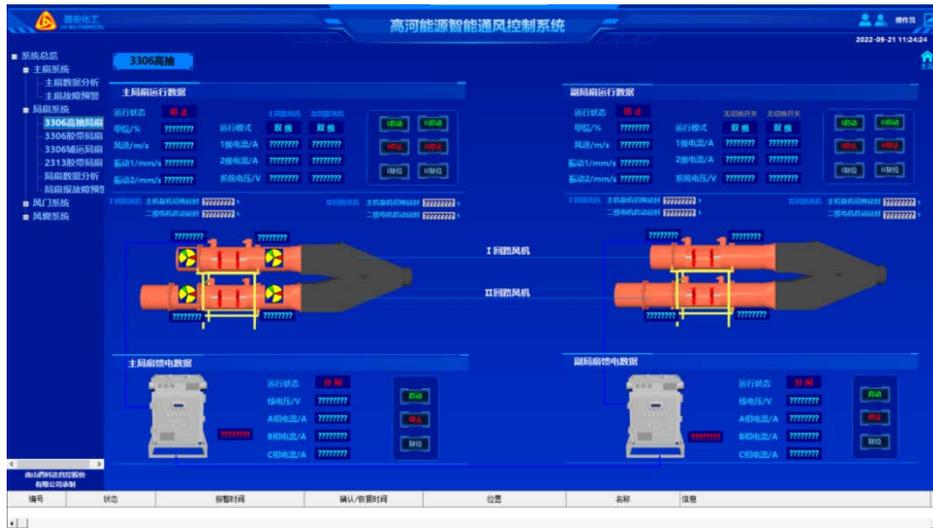


图7 智能通风控制系统（风机状态）

（五）完成了对风门、风窗的技术改造，实现了风门就地自动控制和远程监视与控制，实现了风窗的远程调解。与通风管控平台融合，实现了根据平台解算结果的自动调风控风功能，实现了在变情况下过风门与风窗的远程控制，达到快速疏散，快速疏导有害气体的效果。提高了防灾救灾的时效性和决策的准确性。



图8 智能通风控制系统（风门风窗状态）

（六）采用先进的超声波时差技术，结合优化算法，能够准确测定井下关键部位全断面风量，并能够实时上传，平台依据监测数据完成系统通风的实时解算。风量测量精度的提高，为软件平台完成正确解算和合理决策提供了技术保障。

（七）建立了能够远程监控的瓦斯、温度等在线监控系统以

及可以远程控制的区域自动防灭火系统、自动防尘系统。完成安全监测数据与井下测风数据的大数据融合分析，实现矿井通风安全的预警预判及连锁控制功能。极大提高了矿井放在减灾避灾的能力。

总之，智能通风系统的建设完成，多个子系统实现了无人值守功能，实现了减人提效的经营目标；通过对通风主要设备的分析和调控，有效降低能量消耗。通过监测数据的集中监控以及软件平台的分析解算，使得通风管理实现了数字化、信息化、自动化和透明化，调高了矿井通风的管理水平。

二、智能化建设成效

（一）实现了通风设施设备的无人值守的目标，有效减少井下工作人员工作量。

（二）通过智能通风管理平台的运算模拟功能，实现了决策的可模拟化，可推演化，提高了矿井通风管理的决策能力。

（三）通过平台对风设施的一体化监控，确保了矿井对于灾变的应对的决策准确快速、执行一键到位的快速反应能力。

（四）局部通风机工况分析以及通风损耗分析，可以帮助矿井合理调解供风或优化通风路径，有效节能降耗。

（五）智能解算软件的应用，使得长远通风预判成为现实，贯通前可以对巷道贯通、加减通风设施等都可以通过模拟后做出预判，从而提前采取相应措施。

（六）主通风机集控中心将中央、小庄、鲍村、酒村风机房的控制信号、运行参数集中引入，可以实现一键启动、停止、反风、倒机功能，同时实现对风机运行参数的远程监测、智能预警和诊断，使得主通风机的操作更加可靠、方便、快捷，保障矿井

通风的可靠性与稳定性，增加了安全效益。

（七）降低劳动强度和提高职工幸福感：数字孪生系统的建立，增加了可视化巡检功能，大幅度提高了管理效率，操作人员可以通过数字孪生系统实时对现场情况进行了解，对于核心设备的运行状态可以做到在线查询，减少了人员巡检频次及人次，大幅度降低了职工劳动强度，提高了职工幸福感。

三、有关问题和建议

（一）智能通风系统建设是智慧矿山建设几大系统中起步最晚的一个领域，人们对于通风系统管理智能化认识普遍不够高，对于智慧矿山建设的重视程度也不及其它子系统。然而，通风系统是事关安全生产最为重要系统之一，尽快打造一个信息化、数字化、科学化的通风管理体系是当前煤矿行业十分迫切的一个课题。

（二）在矿山建设中，通风系统的智慧化建设除了主要通风机系统外，其它设备设施（如风门、风窗、降尘、灭火）等的智能化建设相对落后。行业内技术积累有限，很多技术还不够成熟，还需要更多的投入资源进行研究和探索，力争尽快补齐通风系统智慧化这块短板。

案例 46 沙坪煤业矿井通风仿真模拟系统

主要完成单位：山西晋神沙坪煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西晋神沙坪煤业有限公司（以下简称“沙坪煤业”）隶属于山西省晋神能源有限公司，为其全资子公司，是国家一级安全生产标准化矿井、特级安全高效矿井、国家级绿色矿山，矿井证照齐全。目前核定生产能力为 800 万吨/年，矿井剩余服务年限 28 年。

井田地质构造简单，矿井水文地质类型中等，煤层自燃倾向性为 II 类自燃，煤尘具有爆炸性，矿井瓦斯绝对涌出量 $3.48\text{m}^3/\text{min}$ ，相对瓦斯涌出量 $0.42\text{m}^3/\text{t}$ ，为低瓦斯矿井，矿井正常涌水量 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，最大涌水量 $110\text{m}^3/\text{h}$ 。煤种为中灰、中低硫、中磷、低挥发分、中高热值长焰煤。目前正在开采 13#煤层平均厚度 15.33m，9#煤层平均厚度 2.79m。目前矿井采掘工作面部署为一综放三掘进。

（二）建设内容

山西晋神沙坪煤业有限公司于 2022 年建设矿井通风仿真模拟系统，该系统具备对通风环境的全息数据的精准感知能力，利用通风大脑的分析、判断、决策能力，实时分析通风系统状态，通过远程控制设施执行通风大脑的命令进行精准联动调控，并即时反馈信息，实现系统优化常态化、故障诊断精准化、决策方案智能化、设施管控自动化，最终形成全息感知、实时分析、智能

决策、精准调控、自主学习的智能通风模式。

1. 部署情况

根据我矿整体工作部署，建设内容包括智能化矿井通风仿真模拟系统，引进软件系统和部分硬件设备、设施，使通风仿真模拟系统具备测风与仿真演算的功能。我矿已在 13#煤辅运大巷、13#主运大巷、13#煤回风巷、8#煤回风大巷、9#煤二盘区回风大巷、副平硐至辅运大巷段、进风斜井、主斜井、13103 综放工作面等主要地点安设相关传感器设备。智能通风架构如下图所示：

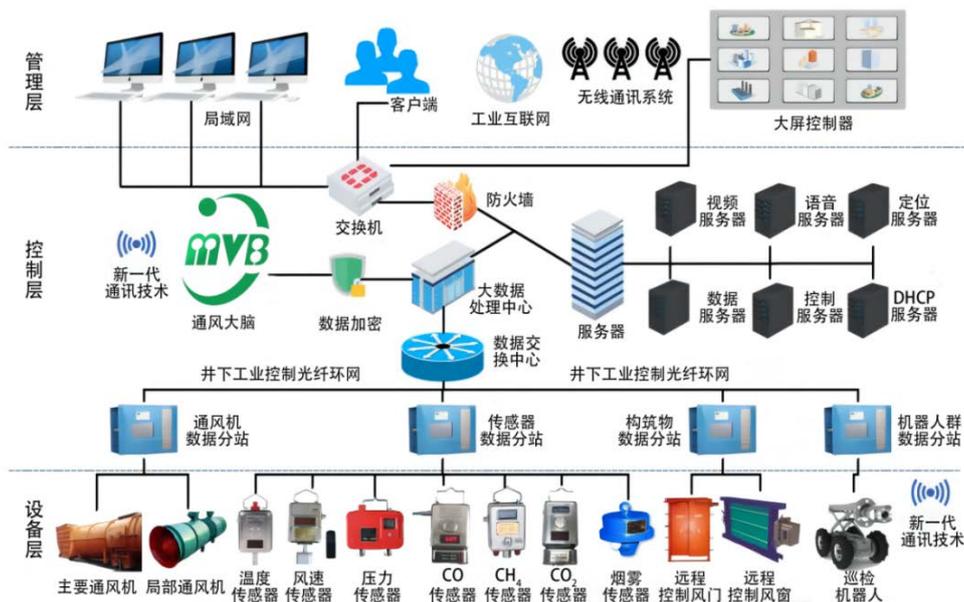


图1 通风仿真模拟系统架构图

2. 矿井通风仿真模拟系统主要功能

实时在线监测矿井通风系统的运行情况，并收集现场数据，模拟巷道贯通、系统调整优化等关键作业时，分析局部通风系统的变化及影响情况，为矿井制定合理的技术方案提供技术支持。

通过采集实时数据，通过软件对矿井的风网进行解算，及时了解矿井通风系统的运行情况、通风阻力分布情况等，同时对矿井通风系统进行评价。

软件功能：在软件系统内可满足矿井“一通三防”日常的工

作需求，如自动生成各类报表、图纸，尤其是可实现系统图纸的二维平面和三维立体的自动切换，实现立体的可视化通风系统动态图。

通过智能矿井通风系统决策分析巷道最佳风量配备，通过“减风降阻”，减少矿井通风电能消耗。

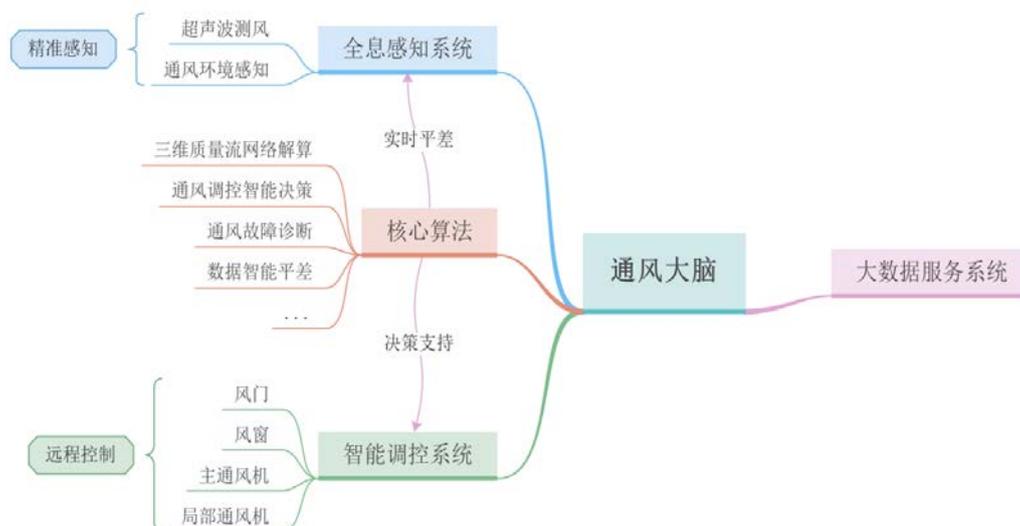


图2 通风仿真模拟系统运行逻辑

3. 系统指标

(1) 软件指标

1) 大型网络（1000条巷道）解算收敛时间在5s以内，误差在5%以内。

2) 通风系统风量实时平差计算收敛时间在5s以内，误差在5%以内。

3) 通风系统智能决策收敛时间在15s以内（可能根据网络规模、决策方法、决策维度的不同，收敛时间有所增减）。

(2) 硬件指标

1) 超声波风速传感器：量程： $-15\text{m/s} \sim +15\text{m/s}$ ；精度： $\pm 0.1\text{m/s}$ 。

2) 高精度双向风速传感器：量程： $\pm (0.4 \sim 15)\text{m/s}$ ；精度： $\pm 0.2 \sim 0.3\text{m/s}$ 。

3) 构筑物指标见智能调控部分。

(3) 兼容性指标

1) 系统兼容常见工控数据交换接口或协议如 Modbus、RS485、S7 等。

2) 系统兼容 AutoCAD、ArcGIS、MapGIS 等数据文件输入，提供数据格式转换接口。

3) 系统可以导出 3ds、obj、glTF 等格式文件，支持在其他三维软件中打开。

4) 系统导出报表兼容常见办公软件，Microsoft Office、WPS Office 等。

5) 系统可以兼容 5G 网络数据交换接口。

二、技术特点及先进性

(一) 通过系统可展示各煤层通风系统图、矿井通风立体示意图、矿井通风网络图，并具备一键生成及自由切换功能，支持 CAD 导出及打印。

(二) 实现实时监测功能。系统内可随时查看任何用风地点风量、风速、温度、负压、瓦斯、氧气等相关参数。

(三) 系统兼容性良好。系统的数据平台建设以及井下设备的运行及数据传输，必须与矿井目前的监控系统项匹配，能够满足日常的工作要求。最好能与目前矿井各类传感器设备兼容。

(四) 由于系统建设属于初期阶段，安设的传感器数量较少，后期建设完成后，系统的主要功能将全部实现。

(五) 系统可以为通风系统调整优化提出技术支持。

(六) 系统支持数据预设值模拟功能，即在无法实现全方位实时数据采集的情况下，能够通过手动预设数值，分析通风系统

运行的变化情况。

（七）引进通风仿真模拟系统软件，并建立数据平台，在安设较少（初期计划9组）传感器的基础上，实现技术要求中的主要功能。

（八）与目前在矿井智能化建设系统兼容。

（九）在智能矿井通风系统中能提供技术支持，为矿井通风系统调整优化提供技术支持。

（十）有效有限解决现巷道高度（巷高3米以上）人工检测盲区。

三、智能化建设成效

通过建设该系统，使用系统中大脑软件功能，实时对传感器数据、风阻计算分析、通风大数据分析智能决策、通风故障进行诊断，从而降低通风工劳动强度，为矿井产生了相应经济效益。

案例 47 双柳煤矿动叶可调风机不停风倒机系统

主要完成单位：山西汾西矿业（集团）有限责任公司双柳煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

双柳煤矿位于山西省柳林县西北部的孟门镇，行政区划属吕梁市柳林县管辖，隶属于山西汾西矿业（集团）有限责任公司，为国有独资。批准开采3#、4#、8#、9#煤层。矿井核定生产能力300万吨/年，矿井证照齐全，能力匹配，各大系统运行正常。

双柳煤矿为煤与瓦斯突出矿井，各煤层煤尘均有爆炸性。煤层自燃倾向性为：(3+4)#煤层为Ⅲ类不易自燃煤层，8#、9#煤层为Ⅱ类自燃煤层。

矿井开拓方式采用斜井-立井混合开拓，采区开采顺序为前进式，工作面采用走向长壁后退式综合机械化采煤法，采掘比为2:6。

（二）建设内容

根据山西省能源局下发的《煤矿智能化建设评定管理办法》中的智能综合保障系统内的通风系统要求对矿井主要通风机实时参数进行智能监测，具备智能调速和远程集中控制功能；具备智能一键启动、反风、倒机，不停风倒机；具备与智能综合管控平台实现智能联动功能，过车风门、主要行人风门应实现自动开关，应安装视频监控系统、声光报警器，关键通风节点的风窗应实现远程控制，具备通风网络动态解算功能，同时当发生异常情况时系统自动显示或语音提醒井下员工避灾路线的功能等。

为紧跟煤炭工业形式变革，加快推进煤矿智能化建设，突出顶层设计、高标准定位，实现固定岗位无人值守与智能化联动控制的要求。同时，矿井通风机系统是保证煤矿安全清洁生产的重要关键设备，主通风机作为煤矿中最重要的通风设备，又被称为“煤矿之肺”，主通风机的可靠运行是保证煤炭开采作业正常安全进行的必要前提。因此我矿于 2021 年 7 月将白家也主通风机房对旋风机改造为动叶可调风机，在风机控制方面采用风机叶片零角度启动、不停机倒机风门、监测传感器、数据传输配合 PLC 控制柜，完成了矿井主通风机不停风倒机系统的建设，具体内容如下：

动叶可调风机不停风倒机系统主要由动叶可调风机、一键不停风倒机系统、配电设备、以及百叶风门、油站、自复式防爆门等辅助设备组成。

1. 动叶可调风机

主通风机采用“动叶可调”模式的在线调节角度，由多种传感器、变送器、控制器、传输接口、监控计算机及软件等组成，能够在线连续监测风量、负压、轴温、电流、电压、振动等参数数据及风硐风门、通风机开停等运行状态。其中动叶可调技术是煤矿通风行业先进技术的代表，通过执行器和液压调节系统控制叶片角度，在通风机运转过程中根据需要随时同步无极调节，通风机可在叶片角度最小的情况下零负荷启动，减小通风机启动时对电网系统的冲击。动叶可调技术结合变频器的调节转速效果，可以使风量的调节多维化、精细化，通过核心算法实时调节动叶角度和频率，实现正常工况下节能高效运行。



图 1 白家也风井场地主通风机

2. 不停风倒机系统

该系统主要由上位机、集中操作台、PLC、现场传感器、网络通讯接口、现场控制箱等组成。控制系统核心 PLC 采用西门子 S7-1500 可编程控制器，实现对整个风井的风机和附属设备的逻辑控制、运行参数的实时在线监测、报警输出和外部通讯等功能。受控设备包括：高低压配电、变频器、液压站、叶片执行器、风机、风门和防爆门等。默认情况下，监控系统使用两台工控机作为人机界面，可实时、动态、直观显示各设备运行参数和设备运行状态，两台工控机互为备用。设备控制方式包括：现场、手动、自动、一键倒机控制模式。其中：现场控制方式：系 PLC 系统故障后使用的紧急控制方式，由操作员在现场控制箱或高压柜上进行控制，PLC 不参与控制，操作员按顺序起、停每个相关设备；手动控制方式：由操作员在操作站控制，全过程 PLC 参与控制，操作员按顺序起、停每个相关设备；自动控制方式：由操作员在操



图3 主通风机配电系统

4. 辅助设备

(1) 风门：按功能可分为检修风门、风机入口百叶窗风门及测试风门；现场检修风门采用立式闸板风门，风机入口百叶窗风门参与不停风倒机控制，测试百叶窗风门主要用作性能测试及试运行等。



图4 水平百叶风门

(2) 油站：有液压油站为动叶可调液压缸提供动力，润滑油站可为轴承箱和电机提供强制润滑。核心组件均采用“一用一备”冗余设计，油站的压力、流量、温度、液位等信号直接接入 PLC 实时控制。

(3) 自复式防爆门：当风机停止运转时，防爆门能够自动升起。当矿井发生灾害时，防爆门可自动打开，释放能量，保护主要风机不受损害。



图5 自复式防爆门

二、技术特点及先进性

根据智能化建设中通风系统的要求，主通风机应具备智能调速和远程集中控制功能，具备智能一键启动、反风、倒机，不停风倒机，具备与智能综合管控平台实现智能联动功能，我矿动叶可调风机不停风倒机系统主要技术创新包含以下几方面：

(一) 自动化程度更高：可实现故障智能分析、一键启停、一键不停风倒机和无人值守功能，具备与智能综合管控平台实现智能联动功能。

（二）适用性更强：主通风机不停风倒机系统通过以太网通讯接口，支持与矿调度中心等上一级智能监控系统联网，传送全部监测数据，实现远程设备监控，适应全矿信息化管理的要求。

（三）更加安全可靠：通过独家专利的轴承箱设计，在风机运行时，由叶轮自重产生的径向力和风道压力作用于叶轮上的轴向力直接作用于轴承箱上，使电机不再承受径向与轴向载荷，电机亦不再内置于风机内筒中，而是通过联轴器置于风机外侧，有效减少电机故障率，彻底解决传统对旋风机因电机径向与轴向载荷过载导致的电机故障和风机叶片扫膛事故，最大限度提升矿井通风安全可靠。

（四）更加高效节能：通过高效叶型设计，单级叶轮即可达到传统风机双级叶轮的做功能力，能效提升30%以上。

（五）减少对电网冲击，风量的波动：通过执行器和液压调节系统控制叶片角度，在通风机运转过程中根据需要随时同步无极调节，通风机可在叶片角度最小的情况下零负荷启动，减小通风机启动时对电网系统的冲击。

（六）远程诊断与故障预警：依托诺文科云服务平台和丰富的行业运维经验，通过对风机现场运行大数据的汇总、清洗、分析、比对等数据专业化分析处理，可实现对接入云服务平台的所有在运行设备进行“健康体检”、故障预判与预警、远程诊断等远程智能化服务。

（七）一键不停风倒机可实现快速切换风机的操作，整个过程中，井下通风不间断，由停机停风改变为风量波动，避免主通风机倒机时，因停机造成的瓦斯积聚、超限现象，使得主通风机倒机这个安全的薄弱环节得到了改善，对矿井安全生产有着重要

意义。

三、智能化建设成效

（一）智能通风，保障安全

矿井主通风机作为煤矿中最重要的通风设备，又被称为“煤矿之肺”，主通风机的可靠运行是保证煤炭开采作业正常安全进行的必要前提。由通风机为主要设备所构成的煤矿通风系统的主要任务是向井下输送新鲜空气，并控制井下有害气体、瓦斯及粉尘的浓度，如果通风系统发生故障，将会给井下生产作业带来严重的安全隐患。动叶可调风机不停风倒机系统可实现快速切换风机的操作，整个操作过程中，井下通风不间断，由停机停风改变为风量波动，避免主通风机倒机时，因停机造成的瓦斯积聚、超限现象，使得主通风机倒机这个安全的薄弱环节得到了改善，对矿井安全生产有着重要意义。

（二）无人值守，减人提效

采用动叶可调风机不停风倒机系统，可以实现一键启动、反风、不停风倒机以及在线实时监测、故障智能分析及预警系统，达到无人值守的安全运行条件，可减少 6~8 名岗位值班人员，通过减少作业人员，每年可提高经济效益约：60 万元。

（三）智能装备、高效节能

动叶可调风机与传统的对旋风机相比而言，通过高效叶型设计，单级叶轮即可达到传统风机双级叶轮的做功能力，运行效率能达到 87%以上，而传统对旋风机运行效率为 60%左右，运行效能提升 27%以上，我矿通过电表实测，动叶可调风机每年节约电费约 100 万元以上。

案例 48 官地煤矿高压配电装置隔离电动推进系统

主要完成单位：山西焦煤集团有限责任公司官地煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

官地煤矿企业性质为有限责任公司，隶属于山西焦煤集团有限责任公司。2016年矿井生产能力核定为390万吨/年。矿区内建有年入洗能力为300万吨的配套选煤厂。井田面积67.3297km²。截止2022年底，矿井保有储量为101347.6万吨，可采储量63430.2万吨，可服务年限100年。矿井为高瓦斯矿井；2号、3号、6号、9号煤层自燃倾向性等级为Ⅲ类，属不易自燃煤层，8号煤层自燃倾向性等级为Ⅱ类，属自燃煤层；矿井地质类型复杂，矿井水文地质类型中等不带压，无冲击地压倾向性。

主要可采煤层2#、3#、6#、8#、9#五层煤，采用倾斜长壁后退式、一次采全高全部垮落的综合机械化采煤法回采，多煤层联合开采。

矿井生产水平为+1051水平，矿井采用平硐-斜井联合开拓方式，井田内共布置有10个井筒，为6个进风井、4个回风井。井田内分南、中、北三条石门大巷延伸划分为南部、中部、北部三个区域，逐步由浅向深、至上而下开采，采区内条带式布置工作面，采用倾斜长壁后退式回采。

（二）建设内容

随着国家经济的迅速发展，煤矿行业的发展速度也在不断加快。工业以太网在煤矿井下应用日趋成熟，煤矿逐渐走向无人值

守。随着山西焦煤集团有限公司煤矿供电监控系统技术规范试行文件的下发，同时反观作为一家有着60年开采历史的老矿井，官地矿面临着供电系统“短路越级、失压群跳、漏电误动拒动”等问题，井下无人值守变电所的改造由此应运而生。

2018年年底，官地矿将井下变电所无人值守改造工程提上日程，并于2019年10月开始，到2020年5月结束，历时7个月，顺利完成南五区变电所、南六区变电所、中部扩区变电所、1021变电所、北大巷变电所、中四区变电所、中六区变电所七个井下变电所的改造工作。

目前，高压配电装置在设备检修维护时，仍需要工人到现场对隔离手动推进退出，进行手动“分合闸”，从这方面讲高压配电装置并没有实现真正的无人值守。隔离手动推进时，小车或隔离绝缘架左右受力不均匀，容易跑偏发生卡滞，导致隔离推进不顺畅。隔离推进退出时，需要施加的外力很大，工人要费较大的力气才能操作，劳动强度大，在自动化程度如此高的今天，这样的操作是很不人性的。目前，高压配电装置内部还没有配置摄像功能，远程控制隔离“分合闸”不能可视化。为了解决上述问题，对配电装置加设隔离电动推进系统已成为趋势，它可以实现隔离一键式推进退出，隔离运行平稳，解放工人劳动力。高压配电装置内部配置摄像模块，将视频信号穿腔引出，并加设视频传输系统，将变电所所有配电装置的内部视频信号传输到地面监控中心，做到操作可视化。同时，配电装置的保护已实现并网，隔离电动推进系统能够与其融合，实现地面远方控制，实现煤矿井下变电所真正意义的无人值守。

为了适应防爆外壳有限的空间并在煤矿井下进行电动隔离系

统改造。电驱拖动机构进行小型化、模块化设计，固定在箱体现有的铰支座上。在箱体原手柄轴处改装手动输入轴，电驱拖动机构与手动输入轴之间实现机械传动，在控制电源停电状态下能够手动推进。在小车隔离本体上加装快速挂锁机构。快速挂锁机构主要包括锁舌、解锁拨杆，解锁拨杆处于自然落下状态时，锁舌伸出保持为锁定状态。解锁拨杆抬起时，带动锁舌收回处于解锁状态。小车隔离本体推进箱体时，锁舌与连接块相互作用，快速锁定。电驱拖动机构带动小车隔离本体推进或退出。小车隔离本体需整体移出箱体时，抬起解锁拨杆即可解锁。电动隔离系统配置双回路位置检测，能够比较准确的反应隔离位置状态。

电动隔离系统保留手动操作功能，在控制电源停电的情况下，可以手动分合隔离，保证正常送电，实现电动手动兼容。配电装置隔离在“合闸”前，变压器二次侧不带电。同时，电动隔离控制部分电源不建议从变压器二次侧引用，原因是容易引起变压器相不平衡，导致保护误动作。控制部分电源为 DC 24V，整体小车隔离电动推进系统电机工作时为电机 150W，分合动作时间各为 20s，为短时小功率用电。

二、技术特点及先进性

（一）整体小车隔离电动推进系统

如图 1 所示，以我矿用隔爆兼本质安全型永磁机构高压真空配电装置为例。该配电装置为整体小车隔离，手动隔离机构包括拨臂机构、连杆机构、铰支、铰支座，如图 2 所示。铰支座焊接在防爆外壳的箱体底部，拨臂机构通过铰支固定在铰支座上。

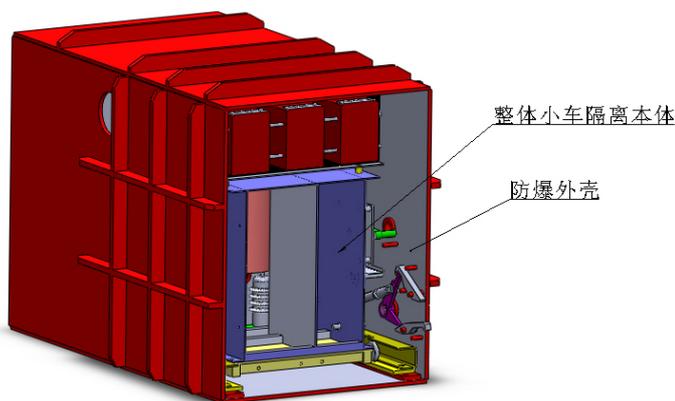


图1 PBG3-□/6Y 矿用隔爆兼本质安全型
永磁机构高压真空配电装置

1. 电驱拖动机构

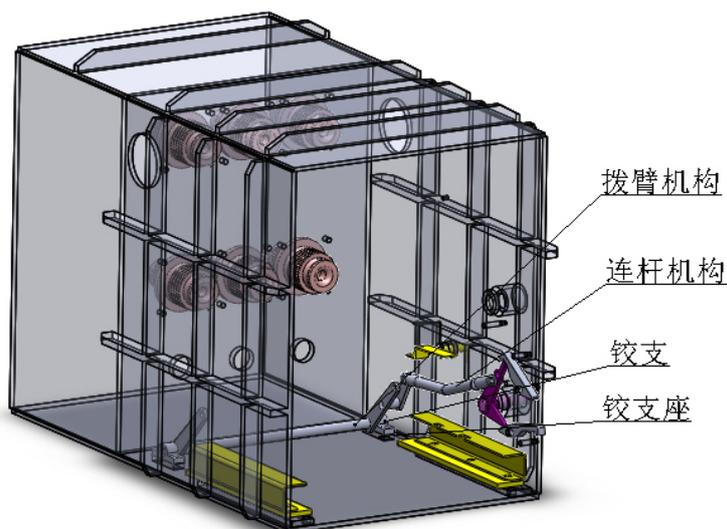


图2 小车隔离本体手动推进机构

为了适应防爆外壳有限的空间并在煤矿井下进行电动隔离系统改造。电驱拖动机构进行小型化、模块化设计，固定在箱体现有的铰支座上，如图3所示。在箱体原手柄轴处改装手动输入轴，电驱拖动机构与手动输入轴之间实现机械传动，在控制电源停电状态下能够手动推进。

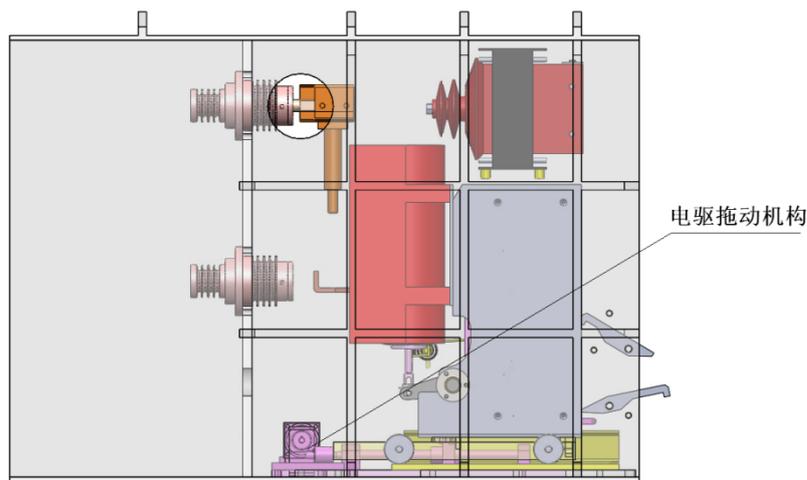


图3 电驱拖动机构

2. 快速挂锁机构

在小车隔离本体上加装快速挂锁机构，如图4所示。快速挂锁机构主要包括锁舌、解锁拨杆，解锁拨杆处于自然落下状态时，锁舌伸出保持为锁定状态。解锁拨杆抬起时，带动锁舌收回处于解锁状态。

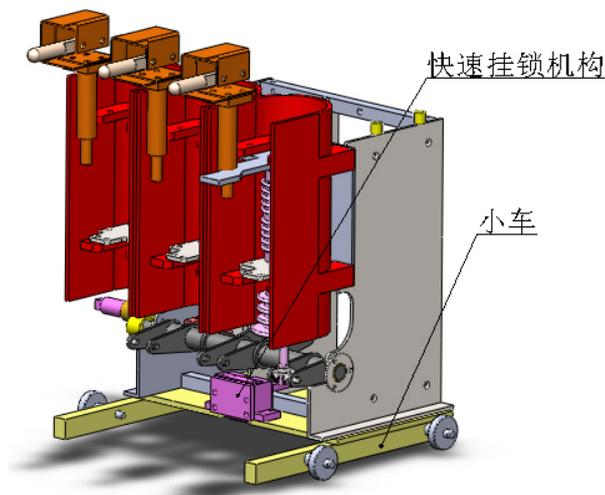


图4 快速挂锁机构与小车

小车隔离本体推进箱体时，锁舌与连接块相互作用，快速锁定，如图5所示。电驱拖动机构带动小车隔离本体推进或退出。小车隔离本体需整体移出箱体时，抬起解锁拨杆即可解锁。

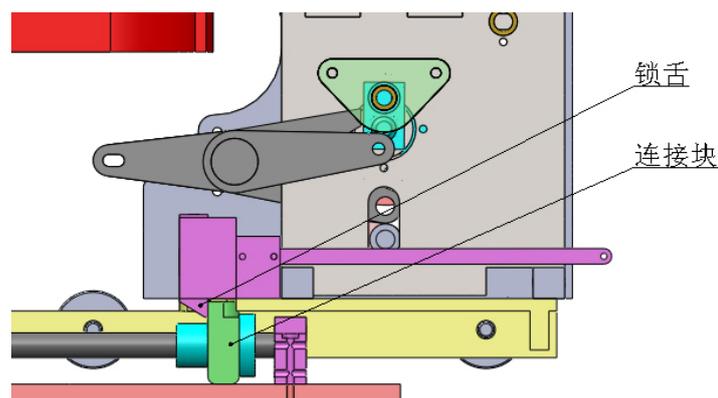


图 5 小车隔离本体快速锁定

3. 位置检测

电动隔离系统配置双回路位置检测，能够比较准确的反应隔离位置状态。

4. 手自一体

电动隔离系统保留手动操作功能，在控制电源停电的情况下，可以手动分合隔离，保证正常送电，实现电动手动兼容。

5. 后备电源

配电装置隔离在“合闸”前，变压器二次侧不带电。同时，电动隔离控制部分电源不建议从变压器二次侧引用，原因是容易引起变压器相不平衡，导致保护误动作。控制部分电源为 DC 24V，整体小车隔离电动推进系统电机工作时为单电机 150W，分合动作时间各为 20s；分体隔离双侧电动推进系统电机工作时为双电机共 300W，分合动作时间各为 5s，均为短时小功率用电。故变电所需根据配电装置台数配置一台合适容量的后备电源。

（二）控制部分

电动隔离系统控制部分包括编程控制器、驱动器、程序代码等。整体小车隔离电动推进系统为电机驱动，其电路图如图 6 所示。

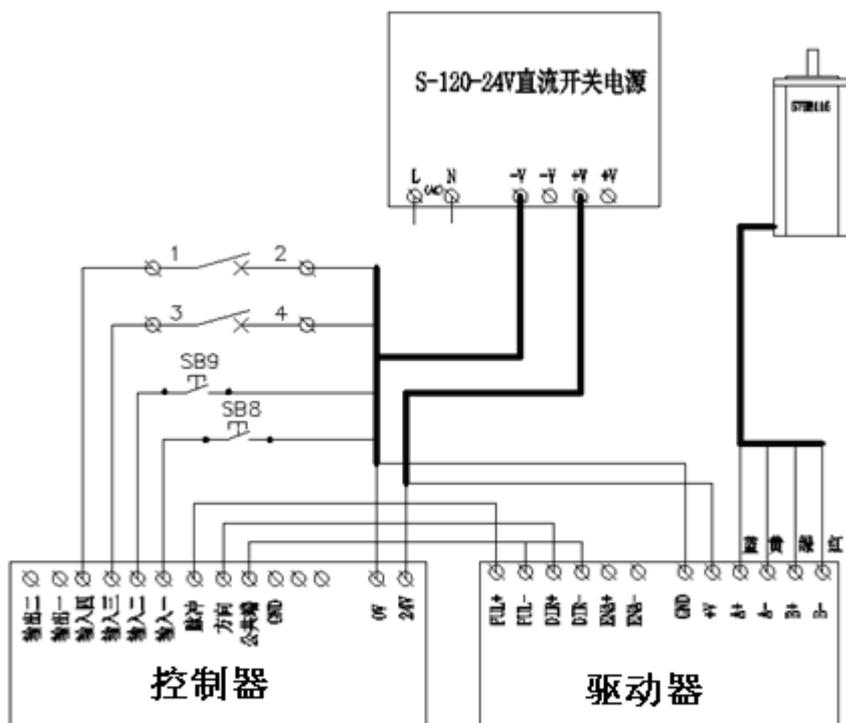


图 6 电机驱动

（三）联网远控

如图 7 所示为配电装置集中监控网络图。电动隔离系统的控制部分与每台配电装置的保护进行集成。保护与监控分站进行通讯，一台监控分站最多可接入 64 台保护。监控分站通过光缆与地面监控系统进行通讯。地面控制系统能实时反映配电装置断路器及隔离的分合状态，并进行远程控制。

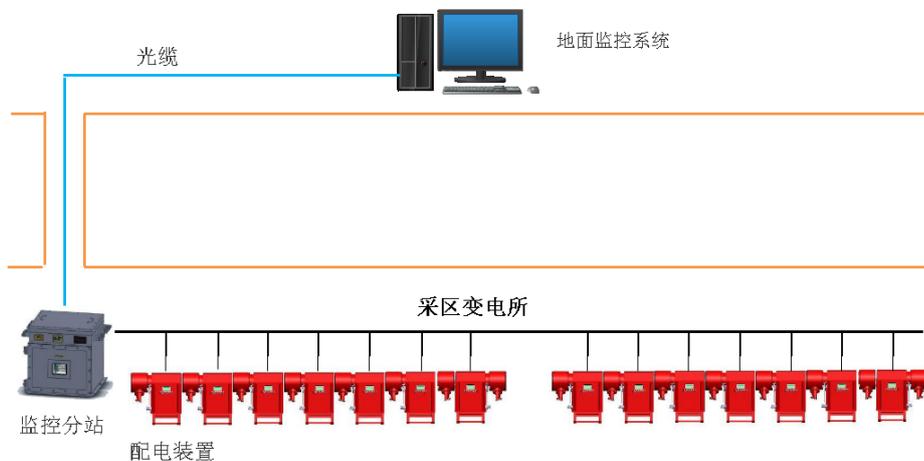


图 7 集中监控网络图

三、智能化建设成效

解决了高压开关人工进退隔离开关的问题，为煤矿井下变电所真正意义上实现无人值守提供了帮助，可节约人力，由此产生了良好的经济效益。以变电所为例，每个变电所值班人员 4 人，共 6 个变电所，总计 24 人，按每人每月 5000 元计算，应用本技术后即可避免由此造成的人员浪费，经济效益每年将近 144 万元。而且变电所安装改造后应用效果良好，使用操作简单方便，切实解决了人工进退隔离小车的问题，为矿井实现四化迈出了可靠的一步，计划在全矿范围内广泛推广。

案例 49 斜沟煤矿瓦斯联动及避灾路线自动规划

主要完成单位：山西西山晋兴能源有限责任公司斜沟煤矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西西山晋兴能源有限责任公司斜沟煤矿成立于 2003 年 10 月 21 日，位于革命老区兴县魏家滩镇，是国家“十一五”规划重点建设的十个千万吨级矿井之一和山西省重点工程。井田属于河东煤田离柳矿区，井田面积 82.64km²，可采储量 14.77 亿吨，设计生产能力 1500 万吨/年，设计服务年限 75.7 年。矿井采用斜井开拓方式，主要开采 8#煤和 13#煤，其中 8#煤采用一次采全高采煤法回采，13#煤采用放顶煤采煤法回采。8#煤平均厚度 4.87 m，顶板为砂岩，比较稳定，底板以泥岩为主，岩体质量良中等。13#煤平均厚度 13.88m，顶板以砂质泥岩为主，局部砂岩，基本稳定，底板多为泥岩。8#煤与 13#煤层间距为 52.42m。矿井为低瓦斯矿井，各开采煤层自燃等级均为 II 类，煤尘均具有爆炸性。

（二）建设内容

1. 建设情况

煤矿是一种潜在危险的工作环境，其中最大的威胁之一就是瓦斯泄漏。瓦斯是一种无色、无味、易燃且爆炸性极高的气体，在煤矿中积聚或泄漏，会造成严重的安全事故和人员伤亡。因此，为了保障矿井的安全以及煤矿的正常运营，建设能够自动规划避灾路线的软件具有重要意义。

2. 主要内容

煤矿瓦斯报警后，软件自动规划避灾路线的主要建设内容涵盖以下方面：

（1）实时监测和传感器网络：系统应该具备实时监测瓦斯浓度和其他关键参数的能力。传感器网络应广泛分布于矿井各个区域，以便准确地检测瓦斯泄漏和浓度变化。

（2）数据收集和处理：软件需要收集传感器网络所获取的数据，并对其进行处理和分析。这包括瓦斯浓度、风速、温度等数据。数据处理应包括异常检测和模式识别，以确定潜在的瓦斯积聚或泄漏情况。

（3）瓦斯扩散模型：软件应该建立瓦斯扩散模型，通过瓦斯浓度、风速等数据预测瓦斯扩散路径和速度。这有助于确定危险区域和瓦斯泄漏的传播方向。

（4）瓦斯源定位：基于传感器网络数据和瓦斯扩散模型，软件可以推断瓦斯泄漏的可能源头位置。这可以帮助指导矿工避免进入危险区域，并采取适当的措施修复瓦斯泄漏。

（5）路线规划算法：软件需要使用高效的算法，根据瓦斯扩散模型和瓦斯源定位结果，规划出矿工的避灾路线。这些算法应考虑到矿井的拓扑结构、通风系统、避灾通道等因素，以确保矿工能够尽快、安全地逃离危险区域。

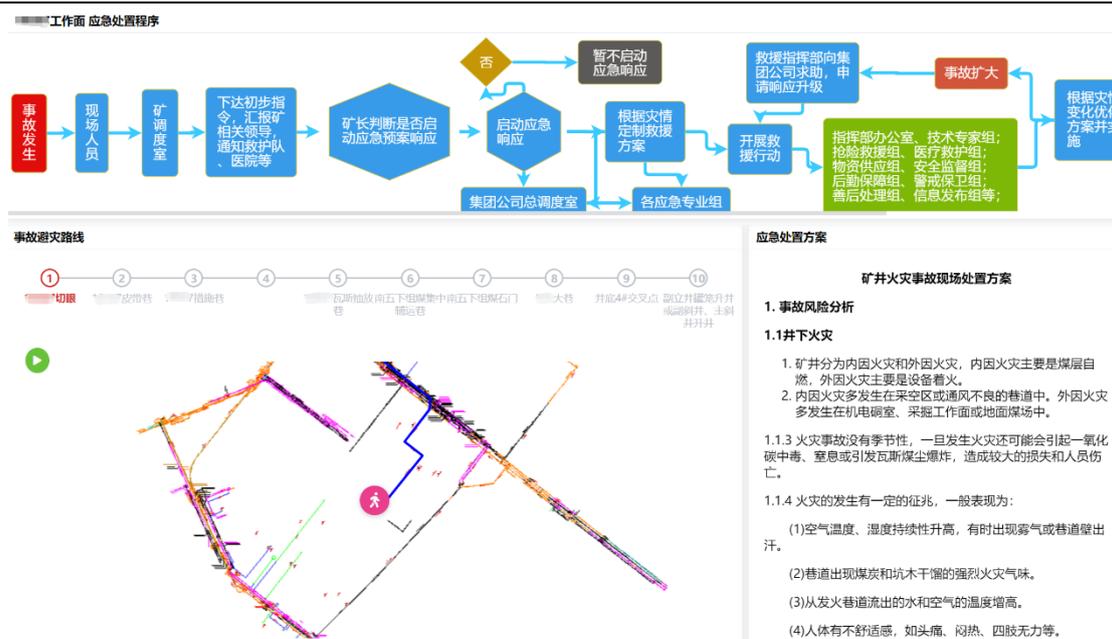


图 1 矿井事故应急处理程序

(6) 实时导航和通知：一旦避灾路线确定，软件应提供实时导航指引，向矿工提供最佳的逃生路径。同时，软件也应向相关人员发送警报通知，以确保他们能够及时采取行动。

(7) 可视化界面：为了方便操作和理解，软件应具备直观的可视化界面，显示瓦斯浓度分布图、瓦斯源定位结果、避灾路线等信息。这样矿工和管理人员可以清楚地了解矿井的状况，并做出相应的决策。

通过以上的建设内容，软件能够及时监测、分析和预测。

二、技术特点及先进性

瓦斯联动应急救援的先进性体现在以下几个方面：

(一) 实时监测与预警：瓦斯联动应急救援系统通过部署传感器网络，实时监测瓦斯浓度和其他关键参数。一旦监测到瓦斯浓度异常或超过安全范围，系统会立即发出预警信号，触发应急救援程序。这种实时监测和预警的能力可以大大提高救援响应的速度和准确性。

（二）数据集成与分析：瓦斯联动应急救援系统能够集成并分析来自多个数据源的信息，包括瓦斯浓度、温度、风速等参数，结合矿井拓扑结构和通风系统的数据。通过数据分析和建模，系统可以实时评估瓦斯泄漏的扩散路径、速度和潜在危险区域，为应急救援提供科学依据。

（三）自动化避灾路线规划：瓦斯联动应急救援系统具备自动规划避灾路线的能力。根据瓦斯扩散模型、瓦斯源定位和矿井拓扑结构等信息，系统可以快速计算出最佳的逃生路径，并将其实时传达给矿工或救援人员。这种自动化的路线规划能够大大提高逃生效率和安全性。



图2 自动化避灾路线规划

（四）实时导航与通信：瓦斯联动应急救援系统通过导航设备和通信技术，为矿工或救援人员提供实时导航指引。这可以帮助他们快速准确地找到避灾通道，并避开危险区域。同时，系统还能提供实时的通信功能，使矿工和救援人员能够及时交流和接收指示，增强救援行动的协同性和效果。

（五）多级联动应急响应：瓦斯联动应急救援系统可以与其他应急救援设备和系统进行多级联动。例如，系统可以与瓦斯抽放系统、灭火设备、安全门禁系统等进行互联，实现瓦斯泄漏的控制和封闭危险区域的隔离。这种多级联动应急响应的能力提高了救援的综合效能和安全性。



图3 应急预案应用及联动

综上所述，瓦斯联动应急救援系统通过实时监测、数据分析、自动化路线规划、实时导航和多级联动应急响应等先进功能，能够有效应对瓦斯事故，提高救援的效率、准确性和安全性。这种先进性的应用极大地增强了煤矿瓦斯事故应急救援的能力，为保障矿工生命安全和煤矿运营提供了强有力的支持。

三、智能化建设成效

瓦斯联动应急救援的建设成效在以下几个方面得到显著体现：

（一）提高事故响应速度：瓦斯联动应急救援系统能够实时监测瓦斯浓度和其他关键参数，一旦发生异常，系统立即发出预警信号并触发应急救援程序。这大大缩短了事故响应的时间，使

救援人员能够更快速地做出反应，增加了矿工生命安全的保障。

（二）提高救援效率与准确性：瓦斯联动应急救援系统通过数据集成和分析，能够实时评估瓦斯泄漏的扩散路径和危险区域。系统自动规划避灾路线，并通过导航与通信设备为救援人员提供实时导航指引。这使得救援行动更加高效和准确，能够快速找到被困人员并将其安全撤离。

（三）降低事故风险和伤亡率：瓦斯联动应急救援系统的实时监测和预警功能可以帮助矿工及时意识到瓦斯泄漏风险，避免进入危险区域。自动化的避灾路线规划和实时导航指引确保矿工快速撤离至安全区域。这样，系统的建设降低了矿工面临的事故风险和伤亡率。

（四）提升应急救援协同性：瓦斯联动应急救援系统具备多级联动应急响应的能力，与其他救援设备和系统进行互联。系统可以与瓦斯抽放系统、灭火设备等设施协同工作，实现瓦斯泄漏的控制和危险区域的隔离。这种协同性提高了救援行动的效能和安全性。

（五）优化矿井管理与生产效率：瓦斯联动应急救援系统通过实时监测和数据分析，能够准确定位瓦斯泄漏源头，帮助管理人员及时修复漏点，改善矿井的安全状况。此外，系统的高效应急救援能力减少了事故对矿井运营的影响，提高了生产效率和经济效益。

综上所述，瓦斯联动应急救援系统的建设成效体现在提高事故响应速度、救援效率和准确性，降低事故风险和伤亡率，增强应急救援协同性，以及优化矿井管理和生产效率等方面。这些成效共同为煤矿安全和生产运营提供了重要的支持和保障。

案例 50 同忻煤矿地质保障系统建设

主要完成单位：晋能控股集团同忻煤矿山西有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

晋能控股煤业集团同忻煤矿山西有限公司(以下简称同忻矿), 位于大同市西南约 20km, 大同煤田北东部。地理座标为东经 112° 58' 29" 至 113° 08' 09" , 北纬 39° 57' 40" 至 40° 05' 54" , 行政隶属大同市云冈区。井田面积 65.2487 平方公里, 批准开采煤层为山 2#层、山 4#层、C2#、C3~5#层、C8#层、C9#层, 现采煤层 C3~5#层, 埋深为由 425~550m, 标高 1550m 至 725m, 煤层平均厚度为 13.44m, 煤种主要为 1/3JM、QM, 煤质为动力煤。截至 2021 年底, 煤矿井剩余工业储量 97195.6 万吨, 可采储量为 49548.8 万吨。矿井生产能力为 1600 万吨/年。

（二）建设内容

同忻煤矿是国家发改委 2006 年核准的全国十个千万吨级矿井之一, 是国家首批智能化示范煤矿。同忻矿始终坚持以创新、协调、绿色、智能、开放、共享为发展理念, 以实现煤炭资源的安全、高效、绿色、智能开发为主线, 以建设智能矿山为抓手, 围绕煤炭工业与 5G+工业互联网、大数据、人工智能等深度融合的关键环节, 大力推进智能管控平台、智能系统、智能装备的技术创新和应用。依托“物联网整合、互联网传输、数字化集成、可视化保障、程序化操作”技术核心, 在物联网技术基础上, 实现了矿山“人、机、物、环、管”数据智能化精准采集、网络化

传输、规范化集成；建立了统一的集成控制平台，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；建设了基于大数据的安全生产云服务系统，全面提升了煤矿智能化水平。

透明地质保障系统是同忻煤矿 2021 年建设的重点项目，建设内容涵盖当前国家和各省对地质保障系统的要求功能，同时结合矿山实际研发了一些创新性应用，具有很强的示范作用。

透明地质保障系统是利用矿井已有地质成果资料、矿井采掘过程中揭露的地质地层、煤层、构造等资料，运用数值模拟、插值技术以及二三维 GIS 技术搭建精细化、可视化的数字地理地质模型。基于地质模型不断融入采掘中不断勘探的井巷工程、地质构造、水文、瓦斯赋存、应力异常等信息，将透明地质编辑平台中管理的地质模型、测量模型、水文及相关模型进行融合与集成，并将后期勘探、井下揭露获取的地质信息、主要充水含水层的水位（水压）、涌水量、水温、矿压、微震、地表岩移等矿压与水文地质监测动态数据及时载入，构建全要素融合四维动态开放式矿井水文地质、瓦斯地质、应力地质等模型，使地质、测量、防冲防治水工作人员可通过模型获取最新的模型及分析数据，为智能开采提供数据支撑。

主要内容包括：

1. 地质数据管理系统

以地质、物探、钻探、采掘和测量等数字化信息为支撑，构建统一的综合地质信息数据库，支持 C/S、B/S 架构的空间信息可视化，具备空间数据、属性数据以及时态数据的存储、转换、管理、查询、分析和可视化等功能，实现煤矿生产过程地质信息的高效管理和数据共享。

2. 高精度地质模型

以三维地质静态模型为基础，不断融入煤矿生产过程中的实时、动态、高精度地质信息，实现三维地质模型的自动更新、规划切割、交互漫游、属性查询等。

3. 地质大数据云平台

建设地质大数据云平台，具备数据分类、分析、挖掘、融合处理等功能，实现各系统之间数据的互联互通、融合共享和时空分析。

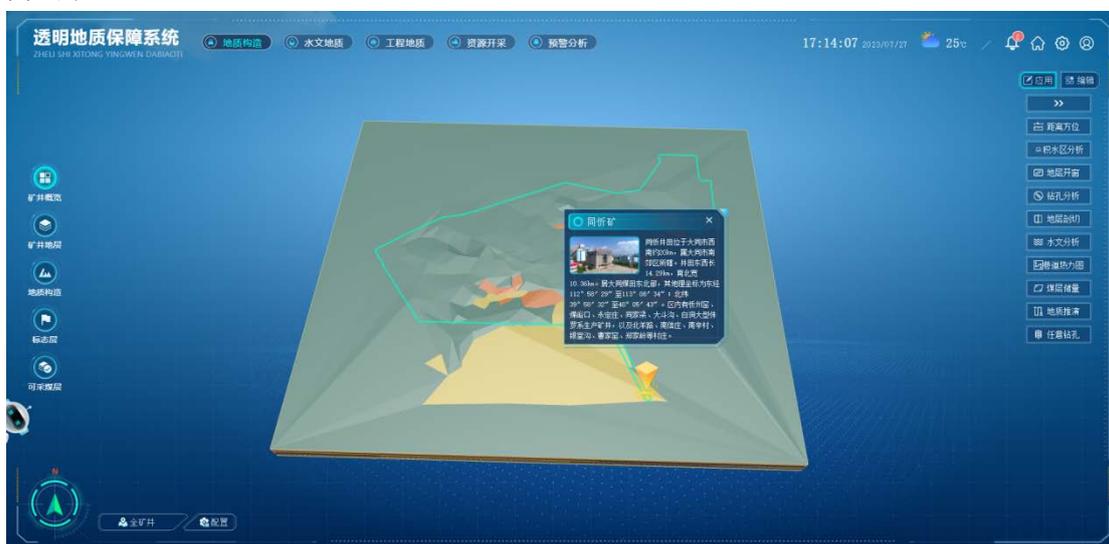




图 1 透明地质保障系统及相关专题

二、技术特点及先进性

（一）我司的透明地质保障系统 CS 端基于 AutoCAD 二次开发，无缝兼容煤矿的传统图形编辑格式和操作模式，无需格式转换，减少用户学习成本，提高工作效率。

（二）协同设计模块实现了空间数据和图纸的统一管理与存储，实现了地测部门修改图纸之后其他专题图对地测底图数据的动态更新，一改以往图纸不对应、图纸信息滞后的情况，大大提高各科室人员的工作效率。

（三）地质模型可应用于涉及各类等值线、等厚线图的自动

生成与更新等。

（四）创新性地提出了地质模型的三态联动编辑方法，使得专业技术人员在熟悉的平面、剖面及三维一体化的场景下，利用地质经验修正地质模型实现“所改即所见”的用户体验。

（五）高精度透明地质保障及应用基于 B/S 架构，权限用户无需安装任何插件即可随时随地访问数据和操作系统，充分体现了信息化、网络化时代的移动办公优势。

（六）系统基于“数据同源”、“数据同步”、“数据驱动”的理念涉及与研发，实现了各类数据入库时，所对应的地质模型、设备模型、异常区模型等各类应用模型动态变化的更新机制。

（七）完全满足和符合《智能化建设标准建设指南（2021）》以及《智能化建设验收标准》中对透明地质保障系统的建设内容及要求。

三、智能化建设成效

同忻煤矿通过智能化建设建成了透明地质保障系统，充分利用和表达了物探、钻探、编录和生产获得的地质相关的成果数据，为矿井的安全生产提供了保障。

建立的构造预警和区域评价模型，实现了矿井的信息的快速查询、专题分析、安全预警、处置复盘等功能，为企业领导层正确决策提供了科学依据，彻底改变了煤矿安全生产的传统管理模式。

案例 51 华宁焦煤井下智能化无人值守变电所研究与应用

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

（一）矿井概况

山西华宁焦煤有限责任公司位于山西省乡宁县西坡镇，2009年11月16日山西省煤矿企业兼并重组整合工作领导小组办公室以“晋煤重组办发〔2009〕95号”文件批准，整合重组成立独立法人公司。核定生产能力300万吨/年，并配套300万吨/年选煤厂；煤种为瘦煤，属质炼焦配煤。

矿井采用斜井开拓；通风方式为中央分列式；通风方法为机械抽出式；供电系统为双回路供电；矿井正常涌水量66.25m³/h，最大涌水量82.92m³/h。目前主采2#煤层，可采储量1.2亿吨，服务年限31.9年。水文地质类型为中等，矿井为高瓦斯矿井；主运输采用阻燃型带式输送机，辅助运输采用无轨胶轮车。

（二）建设内容

华宁公司在智能化发展方面始终坚持以坚持“机械化换人、自动化减人、智能化作业”的发展理念，以探索无人矿井建设路径为方向，以“采掘无人、运输无人、值守无人”为目标，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。

1. 信息化基础设施

公司数据中心和调度指挥中心信息化相关配套设施主要有大屏幕显示系统、有线调度通信系统、4G无线通信系统及万兆信息传输网络，机房服务器、交换机、计算机等关键设备形成。

(1) 信息主干传输网络采用有源以太环网形式，2012 年建设 1 套千兆骨干工业环网，2021 年在原基础上建设 1 套井下万兆传输网络，形成了以地面核心层为中心，井下重要场所为汇聚层的环形网络拓扑结构。

其中，千兆工业环网主要承载供电监控系统、排水监控系统等数据量较少的业务，万兆工业环网主要承载图像监视系统、4G 无线通信系统、智能工作面自动化系统等数据量较大的业务，各业务系统通过 VLAN 进行隔离。

(2) 信息辅助传输网络采用 4G+5G 通信系统，4G 信号覆盖辅运大巷、胶带大巷及主要采掘巷道，实现了基于 4GVoLTE 的高清语音、视频通话、宽带数据传输等功能，5G 信号覆盖采掘工作面、变电硐室等主要场所，实现巡检机器人、智能化采掘等设备的 5G 信号传输，为系统提标准化、统一化的矿井信息高速公路。同时，可以与原有的调度通信系统、行政通信系统等互联互通。

(3) 将原有的标清摄像机全部增补或更换为高清数字摄像机，实现重点场所的高清工业视频监控的全覆盖，同时，采用海康威视 iVMS-9800 安防监控平台实现井上下重点监控点位统一管理、录像统一存储及视频流统一上传。

(4) 数据中心建立了云平台系统，配置 5 节点，计算资源 CPU:240Core，内存:2560GB，硬盘:148TiB，利用云平台建设智能综合管控平台，实现了“采、掘、机、运、通”等主要生产环节进行全流程的实时监控。

2. 地质保障系统

华宁公司目前主要采用钻探、综合物探结合周边测量地质勘测信息来反映矿井实际地质信息，完善了地质数据库，为下一步

建立矿井三维地质模型提供数据支撑。

3. 掘进系统

2022 年通过引进一台 EBZ320 掘进机，智能化改造一台 EBZ318 掘进机，完成了 2 个智能化掘进工作面建设任务，现已全部实现机械化作业，满足采掘接替要求，已具备掘进机自主导航、智能截割、一键启停及远程控制等功能，为下一步实现少人操作目标打下坚实基础。

4. 综采系统

华宁公司于 2018 年末 2019 年初，建成集团内首个 6.3 米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。2021 年下半年再次购置了一套一次采全高智能化综采设备用于采掘衔接，目前该套设备已正常投入使用。

22104 智能化综采工作面均已实现采煤机滚筒截割路径记忆、位置定位、远程控制、姿态控制；液压支架远程控制、支架全姿态监测功能；煤流负荷检测及其协同控制；乳化液泵站流量调节、乳化液的浓度监测、远距离集中供液；矿压监测；集中、就地和远程控制；采煤机、液压支架、刮板输送机协同控制，主要生产流程实现一键启停；刮板输送机、采煤机、液压支架电液控制系统自动找直；顺槽远程操作、远程巡视的工作面无人开采等智能化功能。综采队人员由原来 128 人减少到 87 人，刀煤割煤时间缩短 30%，大大降低了劳动人员的作业强度。

5. 主运输系统

华宁公司主运输系统包括上仓带式输送机、主斜井带式输送机、东胶带式输送机、北胶带式输送机及东二胶带式输送机。

(1) 上仓、主斜井、东胶、北胶和东二胶带式输送机沿线均配备有天津华宁 KTC101 皮带综合保护系统，实现了对皮带沿线闭锁、跑偏、烟雾、堆煤、打滑、纵撕、超温洒水及张紧力下降等八大保护装置实时状态的监控、预警及停机功能。主要电机及轴承均具有温度和振动检测，主运系统集成室内上位机安装有 WinCC 组态软件，可直观显示整个主运系统的状态，并实现了主斜井带式输送机与东北胶带式输送机的集中控制和一键启停。

(2) 主斜井胶带安装有高强皮带钢丝绳检测系统，智能识别损伤皮带，生成损伤报告，有助于及时发现隐患，为胶带维护工作提供参考数据。

(3) 到目前为止，主运输系统已实现“数据采集、集中监控、综合保护”，具备无人值守条件。

6. 辅助运输系统

华宁公司采用斜井开拓，辅助运输采用防爆无轨胶轮车直达运输，可满足矿井不同种类的辅助运输作业需求；建设一套车辆精准定位系统，采用 UWB 无线定位技术能够实时对井下有轨车辆实时跟踪监测和定位，随时清楚掌握每个车辆在矿井下的位置及活动轨迹；并给车辆增加前后雷达，倒车影像等辅助驾驶功能，提高车辆行驶的安全性。

7. 供电与供排水系统

(1) 供电系统

华宁公司已建设 1 个 35kV 地面变电站，中央变电所、740 变电所、井下变电所设有矿用隔爆高压真空配电装置、低压馈电开关、测控分站及工业交换机，地面集中控制室安装 1 套 KJ360 型电力自动化监控软件。其中，每台矿用隔爆高压真空配电装置内

部装有高开综合保护器，用于实现变电所矿用隔爆高压真空配电装置电度计量、过流、过载、短路、漏电等保护功能，测控分站用于采集变电所高低压开关的状态信息，工业交换机用于数据传输，实现了井下供电系统的“五遥”——遥信、遥测、遥控、遥调、遥视。

（2）排水系统

井下盘区排水集控系统控制核心采用西门子 S7-300 系列 PLC，现场配置操作台，地面上位机采用 iFix5.8 系列组态软件，实现了水泵、电动闸阀、电动球阀等设备的就地控制和远程控制。

系统具有有水位、流量、温度、振动等保护。当水位高于或低于设定值时具有高低水位报警功能，当水位低于设定停机值时，水泵停止运行，防止水泵缺水空转；当水泵流量低于设定值时，水泵停机，防止缺水等故障损坏水泵；水泵电机温度达到设定预警值则报警，达到停机值时则停机；当由于轴承、安装螺丝松动等故障引起振动幅值超过设定值时，水泵停机，防止损坏扩大。盘区排水集控系统具有就地、闭锁、远程控制方式，具有手动、自动、检修控制模式，自动运行时可以根据水仓水位实现自动启停水泵，具有实现无人值守的条件。

二、技术特点及先进性

（一）740 智能化变电所项目概况

山西华宁焦煤有限责任公司 2020 年 10 月开始筹划对井下 740 变电所进行无人值守化改造，通过参考有关规范要求，确定了招标技术规格选型，经公司公开招标确定选用无锡军工生产的 PJG770A 矿用隔爆兼本质安全型高压真空配电装置。华宁公司成为此新型高压开关的全国首批推广试用单位，公司于 2020 年 12 月

底与该公司先后签订系统及设备技术协议及合同，于 2021 年 6 月开始进行系统建设，同年 7 月底建设完成并开始投入试运行。

本项目的设备及软硬件设施包括：新型高压开关 26 台、矿用隔爆兼本安型锂离子蓄电池电源一套、测控分站 1 台，防爆计算机 1 台、本安型云台摄像机 2 台、电力监控系统 1 套、视频监控 1 套、环境监测系统 1 套、门禁系统 1 套等组成。

升级改造后 740 变电所安装的 26 台智能型高压开关进出线均为下进线。经本工程项目组织人员讨论，根据以往变电所存在的电缆叠压，造成拉移电缆及检查电缆困难、电缆散热不好等问题，创新性的进行井下电缆沟施工，筑建长 75m、宽 1.5m、深 1.7m 的电缆沟，并在沟内两侧各安装 5 层电缆托架，不仅解决上述问题，使得电缆敷设整齐美观，同时通过开关底部电缆与地沟完美契合，开关接线统一型式、成排成线，美观大方。新型智能开关自带接地刀闸，与前后门实现机械闭锁；母联采用铜母排整体连接，简化了母线连接电缆，中间设置双分段开关，保证了检修分段开关时的绝对安全；可电动分合断路器、接地开关、进退小车；操作及控制采用独立不间断电源，配置动静触头、接地开关视频实时监控系统及触头无线测温装置，同时具备网络拓扑结构自动识别、一键快速恢复供电等先进技术及管理功能。

在地面建立远程集控中心，实现了供电系统远程集中控制，可远程分合断路器及接地开关、进退小车，具备数据采集、运行状态监视、视频语音通话等技术功能，实现了防越级跳闸、选择性漏电保护、电缆绝缘实时监测预警、“五防”（防止误分、合断路器；防止带负荷分、合隔离开关；防止带电挂接地线；防止带地线送电；防止人员误入带电间隔）及“六遥”（遥测、遥信、

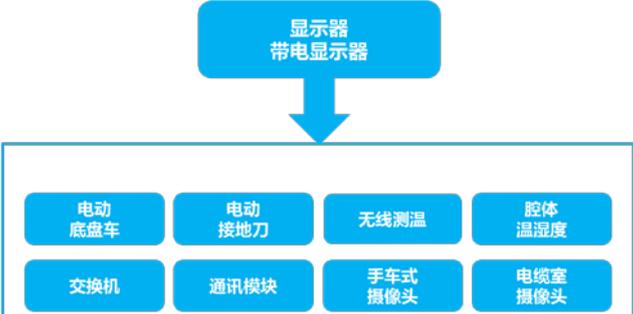
遥控、遥调、遥脉、遥视)功能,全面实现了740变电所供电系统无人值守。

(二) 项目应用效果对比分析

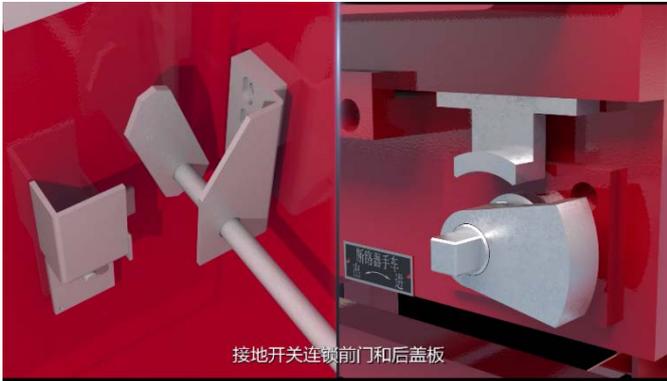
新型智能高压开关采用了传感技术、自动控制技术、信息化技术,下面从智能化、安全性、安装使用三个方面对新型智能型高压开关和普通型高压开关进行对比分析。

智能化对比分析

	普通型	智能型
手车进出	手动操作	手动/电动两种操作机构,可远程操控。 开关断路器电动进出机构
输出端接地方式	无接地开关 检修接地操作程序:分主开关、退出手车、打开后盖板、验电、放电、挂接地线。	输出端带接地开关一键操作接地,简化了操作程序,提高了操作安全性,接地开关具有手动/电动双操作机构,可远程操控。 
可视化	在柜外边和调度室观察不到手车到位、触头咬合情况	手车工作位置和接地开关处均有监控摄像,可在就地或调度室远程实时监控触头的咬合情况和接地开关的分合状态,实现远程遥视。 

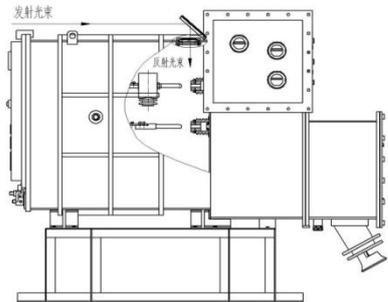
<p>无线测温</p>	<p>无</p>	<p>所有接触点安装了在线式无线测温装置，可实时就地或调度室远程观察运行时触头接触温升，温升异常时告警，杜绝了接触不良引起的温升事故。</p> <table border="1" data-bbox="783 324 1273 696"> <thead> <tr> <th>测温位置</th> <th>温度</th> <th>电量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">上触头</td> <td>A相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>B相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>C相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">下触头</td> <td>A相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>B相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>C相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">电缆头</td> <td>A相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>B相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>C相</td> <td>0.00℃</td> <td>0.00%</td> </tr> </tbody> </table>	测温位置	温度	电量	上触头	A相	0.00℃	0.00%	B相	0.00℃	0.00%	C相	0.00℃	0.00%	下触头	A相	0.00℃	0.00%	B相	0.00℃	0.00%	C相	0.00℃	0.00%	电缆头	A相	0.00℃	0.00%	B相	0.00℃	0.00%	C相	0.00℃	0.00%
测温位置	温度	电量																																	
上触头	A相	0.00℃	0.00%																																
	B相	0.00℃	0.00%																																
	C相	0.00℃	0.00%																																
下触头	A相	0.00℃	0.00%																																
	B相	0.00℃	0.00%																																
	C相	0.00℃	0.00%																																
电缆头	A相	0.00℃	0.00%																																
	B相	0.00℃	0.00%																																
	C相	0.00℃	0.00%																																
<p>集成综控</p>	<p>综保、电度表、温湿度监控等通讯需要各自引出通讯线，外引线多。</p>	<p>采用多功能集成综合控制器，融合了高压带电指示及闭锁功能、电动底盘车控制功能、电动接地刀控制功能、开关触头及电缆接头无线测温功能、腔体内部温湿度采集与控制功能、以太网交换机功能以及监控摄像机实时监测功能等。综保、电度表、温湿度监控等通讯可以通过综合控制器集成输出，一根线解决所有通讯问题。</p>  <p>The diagram shows a central '显示器 带电显示器' (Monitor with live indicator) connected to a large box containing eight functional modules: '电动底盘车' (Electric chassis car), '电动接地刀' (Electric earthing knife), '无线测温' (Wireless temperature measurement), '腔体温湿度' (Cavity temperature and humidity), '交换机' (Switch), '通讯模块' (Communication module), '手车式摄像头' (Hand truck camera), and '电缆室摄像头' (Cable room camera).</p>																																	

（三）安全性对比分析

	普通型	智能型
五防联锁	无五防连锁，断路器手车在工作位置时，柜门无法打开，但能打开后盖板	<p>实现了高压隔爆柜真正意义上的五防闭锁和安全联锁：</p> <p>a) 柜体后盖板采用铰链机构，即使打开后盖板螺丝，接地刀没合闸状态下也不能完全打开后盖板，完全杜绝误操作造成的触电事故；</p> <p>b) 柜体前门和后门都和接地开关闭锁，接地开关不合闸，前后门都不能打开，杜绝误操作；</p> <p>c) 接地开关合闸后，断路器手车不能进入工作位置，杜绝检修时误送电造成检修人员触电伤亡事故；</p> <p>d) 断路器手车在工作位置时，接地开关不能合闸、前后门不能打开，提高设备安全性能。</p> 
带电闭锁	后盖板处无带电闭锁	无接地开关的进线柜、母联柜、PT柜等增加了带电闭锁功能，电缆输入端带电时打不开盖板。杜绝了误操作的可能性以及带电时人员误打开带电部位盖板引起的触电伤人事故。
快速接地	无	出线侧增加接地开关，有效避免检修时误操作或违规操作产生的事故。

（四）安装使用对比分析

	普通型	智能型
联合方式 需联合筒		<p>不需联合筒。将两台配电装置拼在一起直接连接即可，节约系统的安装长度，减少连台母线处 50% 的隔爆面，从而节约硐室空间和安装工程量。</p> 
母线连接 主母线采用铜棒或电缆连接，母线室空间小		<p>主母线采用矩形母排，载流量大，增大了母线散热表面积，有效降低了以往配电装置在大电流情况下的温度过高问题，确保母线大电流运行的可靠性。同时因母线腔空间大，安装更方便。</p> 
出线电缆连接 接线腔空间小		<p>组装机式电缆接线腔，检修方便，空间大，接线方便，满足 2 根 300 平方交联电缆接线空间需求。</p>
手车检修 检修手车时需要将手车拉出至托架上，手车有滑落的危险，且由于开门角度的原因，靠近门一侧没检修距离。		<p>配有专用的断路器检修小车，检修时只需将断路器手车拉出至检修小车上，移动检修小车至安全、宽敞地方检修，避免由于手车太重而发生跌落损坏及伤人事故，同时解决了门与手车之间空间太小检修难的问题。</p>

		
<p>开门方式</p>	<p>采用两侧弯手把上抬的开门结构，手把会断裂、双侧手把位置角度不一致，影响视觉美观。</p> 	<p>采用偏心轮旋转机构，柜门打开、关闭利用偏心轮上推下压，省时省力、安全可靠，且前门无繁杂机构，简洁而美观。</p> 
<p>两段母线之间的连接方式</p>	<p>只能采用电缆连接，多一个电缆接头就多一个隐形故障点。</p>	<p>使用专用母线连接箱，采用铜排连接，减少两段母线之间需要电缆连接带来的安装不便和安全隐患。</p>
<p>观察窗</p>	<p>在柜体侧面安装观察窗，需要进入两台柜子之间弯下腰观察</p>	<p>在柜体顶部反射观察窗，直接在柜体前面可以看到柜内部手车位置，观察更方便。</p> 
<p>电缆接线</p>	<p>电缆接线室位于主母线腔下方，中间用一块绝缘板隔离，上下端距离近，易产生触点或静电感应危险。</p>	<p>电缆接线室位于尾端，是独立腔体，与主母线室隔离，接线空间大且不接触主母线，接电缆时安全可靠。可靠性高。</p>

通过性能对比可见，新型智能开关实现 740 变电所无人值守及地面远程监控。选用 PJG770A 新型开关具有多项新型专利，技术含量高，该产品所有试验项目均符合试验规范标准，已取得国家上海煤科院、北京安标中心及中国质量认证中心 3C 等权威机构颁发的合格证书，证件齐全。

三、智能化建设成效

（一）740 无人值守变电所成效

1. 智能化升级前变电所值班采用 3 班制，每班一人，按照目前矿井井下电工收入约 12 万/年，3 个人约 36 万/年。原有维护成本约 12 万元/年，智能化升级后 740 变电所母联采用铜母排整体连接，简化了母线连接电缆及电缆头制作费用，开关内主要电气元件的工作电源由锂离子蓄电池电源供给，电压稳定，降低了损坏率，年维护成本大约需 3 万元/年，年节约费用 9 万元/年。按电气设备 10 年折旧计算，节省人员工资： $36 \times 10 = 360$ 万。变电所维护费用按设备 10 年折旧计算，带来效益： $9 \times 10 = 90$ 万。

共计：450 万元。

2. 实现了 740 变电所无人值守，地面远程监控，高压设备的大多数操作将由地面通过计算机界面完成，减少了配电工就地操作的次数，提高了人员操作的安全性。

3. 管理的自动化及智能化达到国家先进水平。由地面供往井下各采掘工作面的高压线路停送电操作将在地面主控室集中完成，避免了故障发生后多个配电点同时急于汇报造成通讯占线、调令受阻的情况和调度人员难于应付的局面。地面集控后，一条线路的停送电全过程将由一个主值负责操作，副职监护，在受令操作过程中思路明晰，减少了过多了联络，增进了井下高压系统停送

电过程的安全性。

4. 实现操作的本质安全，保障人员生命健康安全。通过地面操作井下高开停送电，避免人工操作可能出现的失误，保证了操纵人员的安全。

5. 该项目符合国家的产业政策，对保证井下供电系统安全运行具有良好的效果，对提高煤炭行业安全生产能起到重要的作用，有效防止由于各种故障及操作带来的安全隐患，对确保煤矿安全生产具有重大意义。

（二）智能化建设成效

随着各项智能化项目的有序推进，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，大幅提高了综采和掘进工作面的速度与效率，现全矿井劳动组织由“三八”制改为了“四六”制，取消了夜班生产，实现了“一周双休”，全面实现“五天工作制”，实现了“少时则安”的目标，为下一步实现“以机械化换人、自动化减人”奠定了坚实的基础。

案例 52 韩咀煤业基于一张网多功能融合平台的辅助运输调度管理系统

主要完成单位：中煤华晋集团韩咀煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

中煤华晋集团韩咀煤业有限公司是中煤华晋集团有限公司全资子公司，位于山西省临汾市乡宁县西坡镇。井田面积为 25.2245km²，批准开采 2#~10#煤层，目前主采 2#煤层设计可采储量为 124.12Mt，设计生产能力 120 万吨/年，服务年限为 73.9a。为低瓦斯矿井，矿井采用斜井开拓，中央并列式通风，采用单一水平开采，现布置 1 个综采工作面和 2 个综掘工作面。

（二）项目概述级项目背景

随着矿井智能化建设的不断深入，拓扑高动态，业务高差异，资源强受限等特征给智能化建设带来了巨大挑战。利用融合基站+万兆环网融合网络体系，提出多维异构数据平面资源池化，多域协同的感知功能按需部署，多层多域混合式网络自主管控，实现融合网络按需重构，为矿井智能服务提供基础保障。

韩咀公司原 3G 无线通信系统数据传输能力低、技术落后、功能单一，且该系统与胶轮车辅助运输系统、人员作业管理系统、应急扩播系统等厂家不一，各系统相互独立不能兼容、数据不能共享，已不能满足智能化矿井建设发展需要。

（三）建设内容

基于上述问题，韩咀公司提出一整套解决方案：以多功能融

合基站为基础，集成了 4G 通讯模块、UWB 精确定位模块、Wi-Fi 通讯模块、红绿灯控制模块以及千兆环网模块等，通过万兆工业以太环网，建立了基于人员精确定位、胶轮车精确定位、井下交通管控、胶轮车智能调度、主要采掘设备精确定位、应急扩播、入井单兵装备为一体的多功能融合平台，实现各系统完美兼容、信息联动、数据共享。

二、技术特点及先进性

（一）一张网多功能融合平台

利用一张网多功能融合平台深度融合，一张图展示人员、辅助运输车辆、采煤机、掘进机等重要机电设备的精确位置和运行情况，实时监测反馈人、车、主要设备位移、碰撞等风险，利用 AI 视频、应急广播、智能车载终端、人员单兵装备，智能预警报警、主动防护，实现对“三违”、风险隐患的早期识别和智能分析，提前防范化解重大安全风险，并进一步提升应急救援精准度和时效性。如图 1 所示。

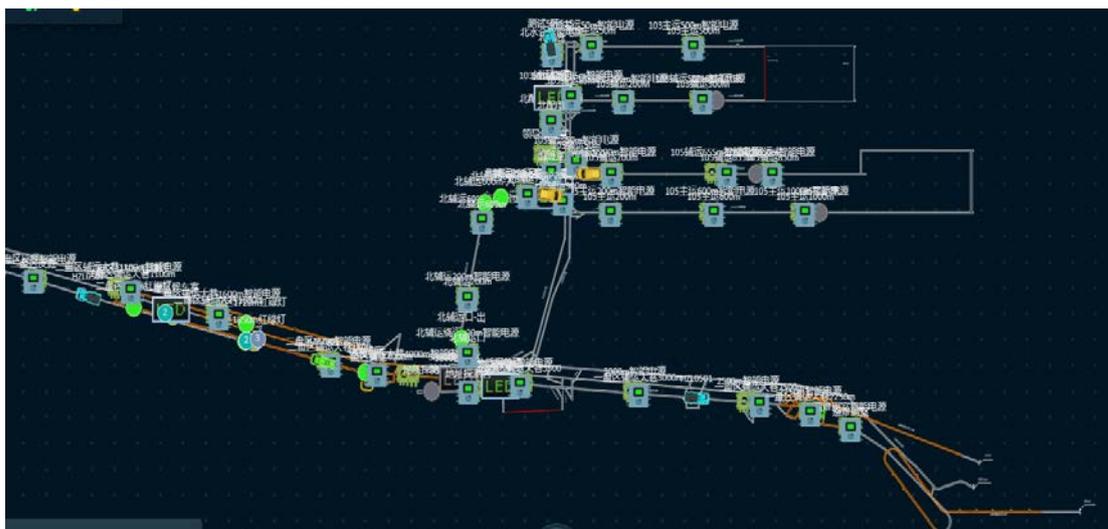


图 1 人员、车辆及主要设备监测图

（二）车辆智能调度

通过“网约车”模式，使用手机 APP 或 WEB 端申请用车，调

度员通过车辆路线规划、车辆任务调配、车辆数据分析，实时掌握各部门对车辆的占用情况，优化车辆使用率，提升调度智慧化管控。如图 2 所示。

图 2 用车申请

（三）融合联动行车报警装置系统

通过 UWB 无线定位技术，结合车辆位置，自动触发矿用本安型显示屏无源开关（DO 干节点），自动启/停行车报警系统，实现顺槽、斜坡等危险区域内声光语音报警，提示区域内人员，保障行车安全。如图 3 所示。



图3 融合联动行车声光报警

（四）防碰撞提醒

车辆在井下行驶过程中，系统根据车辆 60 米（可自定义）范围内环境情况进行检测、分析，如周围有其他车辆、拐弯、斜坡或路口，自动通过车载终端对司机进行语音提醒；下一步计划在车辆前后左右安装车载雷达，识别车辆 0.2~30 米范围内的设备及人员，通过车载终端实现语音报警，提示司机行车安全。如图 4 所示。



图4 车辆信息监测防碰撞提醒

（五）车辆到站提醒

井下候车室 LED 显示屏定时刷新车辆到站距离，距候车室 50 米时，语音提醒候车人员车辆进站，注意避让；下一步计划在候车室安装 GIS 地图显示装置，实时显示所有入井车辆实时位置，方便候车人员实时掌握车辆状态。如图 5 所示。



图 5 车辆到站提醒

三、智能化建设成效

（一）多功能融合基站的投入使用，减少各系统数据传输分站购置，提升设备利用率，节省投资（根据系统规模各有不同）最大节约 50% 的投资；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 654 公里，日平均油耗 228L；技术应用之后车辆日平均总运行里程 532 公里，日平均油耗 186L，油耗降低了 18%，整体运行效率提升了约 19% 左右，尾气排放大幅减少，井下空气环境得到较大改善。

（二）4G 无线通信系统使井上、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，还可实现各系统线上运维，为系统安全、稳定运行提供保障；通过智能用车审批模块，精减用车审批流程，提高工作效率及统一调度信息化水平。

（三）UWB 技术定位技术的应用实现了井下作业人员、重要机电设备的精准定位，有效的防止车辆在运输线路上发生碰撞事故，降低了事故率。发生事故时，迅速确定井下人员具体位置，为精准快速救援提供支撑。

案例 53 华阳一矿辅助运输智能调度系统

主要完成单位：山西华阳集团新能股份有限公司一矿

一、矿井概况

山西华阳集团西能股份有限公司一矿位于山西阳泉市西北部，井田面积 83.6 平方公里。现有地质储量 5.6 亿吨，可采储量 3.25 亿吨，年核定生产能力 850 万吨，服务年限 27 年，资产总额 37.28 亿元，主要生产选中块、选小块、末煤等品种。

一矿牢牢把握“质量第一，效益优先”工作总基调，践行契约精神，坚守安全底线，紧抓效益主线，筑牢环保红线，推进创新创造，坚持强党兴企，主动担当作为，依靠科技进步和装备提升，积极探索安全绿色智能化开采新模式，以智能化示范煤矿建设为契机，全力开创打造 5G+智能煤矿新局面，树立行业一流标杆，全面提升矿井智能化水平，实现高质量发展，为集团公司打造世界一流“火箭级”新材料产业集团做出新的贡献。

二、建设内容

系统以工业网络为平台，以智能化终端设备为骨干，结合辅助运输信集闭系统、通讯系统、矿井 GIS 系统，实现全矿井辅助运输系统的智能化管控，实现辅助运输系统重要运输设备、运输车辆、矿车、物料的全程管控和实时调度，辅助运输系统运行调度科学化，从而达到辅助运输系统高效、安全运行的目的。



图1 辅助运输物料运输管理系统

①电机车、矿车精确定位

采用基于GIS系统的精确定位技术，对井下车辆的位置信息进行实时监测。系统按照车辆的位置信息进行行车信号的闭锁连锁控制，引导车辆行驶、避让；车辆出现超速、违规停车、违法闯入时，系统预警并记录预警信息；系统按照车辆位置信息进行车辆运输任务的跟踪管理，形成任务闭环和数据统计依据；系统实现运行轨迹查询、回放，根据数据库保存的运行过程数据可以重现指定时间内运输过程，为分析事故原因，改进调度策略提供依据。

②互联互通

系统利用矿井建设的工业网络系统，将辅助运输系统主要设备全部接入工业网络，可实现有线或无线连接，从而实现对辅助运输系统人员、物料、排矸系统的全方位、全过程监测监控，实现运输设备互联互通和远程集中控制。

③物流管控

通过定制化的物流管控系统，对物料运输进行全周期管理，

实时监测运输物料任务进程及完成情况，定制化进行运输生产服务，提升运输效率和服务质量。

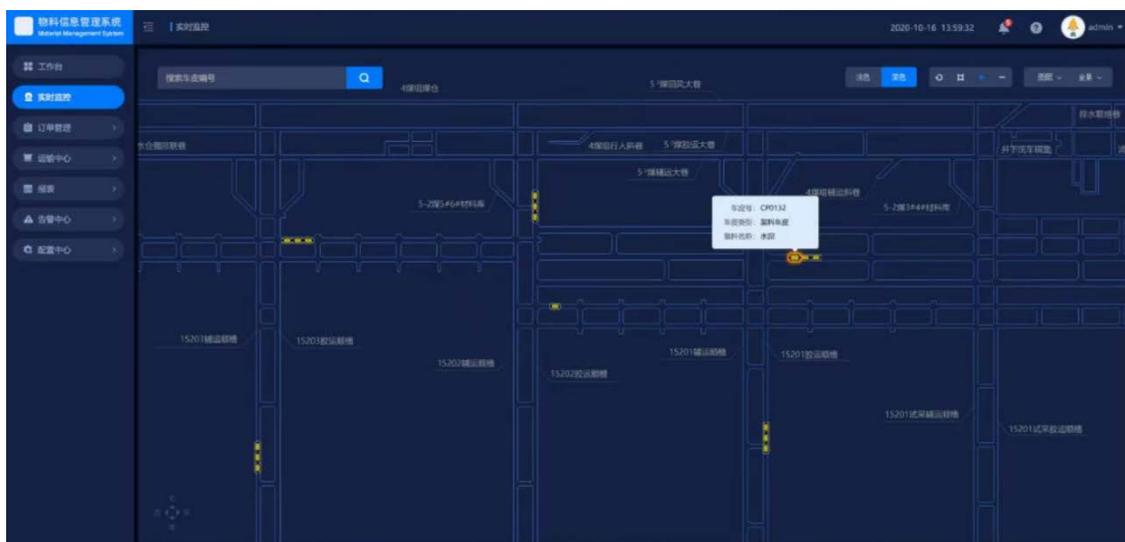


图2 物流管控

三、建设特征及先进性

（一）系统特征

（1）机车智能化

①使用智能型架线电机车，车辆必须具备MA标志，且具备完善的数据、通讯接口；

②本系统借助矿工业网络，实现对机车状态、运行情况等进行实时监测，并实现数据共享，最终达到运输设备互联互通和远程集中控制的目标。

③本系统机车符合《煤矿安全规程》及煤矿设备安全标志管理要求；

（2）设备监控系统

①网络通信：系统通过构建有线、无线通信网络，实时上传井下监控辅助运输系统主要运输设备状态、电机车行进路况及车况信息到辅助运输调度中心，保留能实现实时下发机车控制指令和调度指令至机车室的通讯、数据接口。

②状态监测：控制中心显示屏能远程监测辅助运输系统主要运输设备定点视频，以及设备的运行速度、电流、电压等基本状态信息，同时显示设备工作状态、故障信息等。

③精准定位：系统通过构建矿井 GIS 系统，对井下实施电机车、矿车的精准定位。

④联锁控制：系统通过构建运输信号集中闭锁系统，实现对运输区间联锁，信号联锁控制，实现对多台电机车大巷运输的安全有序调度。

⑤远程控制：系统对辅助运输系统的例如架空乘人装置、无极绳绞车等主要运输设备，实施远程控制。

（3）物流管控系统

①系统架构：系统还原运输工区、经营管理部、全矿各队组的物流管控全流程，实现全方位、全过程管理。

②智能终端：系统在地面工业广场和井下各采区配备手持式智能终端。

③超期提示：系统对超期使用的矿车自动在系统内生成提示信息并上传至运输工区系统管理员，方便运输工区实施运输安全管理智能。

（二）系统先进性

1. 车辆精确定位

采用 UWB 无线定位卡通过智能算法计算电机车车辆的精准定位，准确区分车辆所在轨道并能通过地图动态显示车辆位置、行车方向和速度信息，可在调度监控终端实时显示井下车辆信息，机车无线定位精度静态不大于 0.3 米，为车辆调度管理提供依据，提高车辆利用效率。

2. GIS 动态实时监控

具备图层管理和切换功能、支持分煤层 GIS 显示，在 GIS 地图上可以实时显示井下车辆的位置、行进方向、速度、信号灯状态等信息，支持搜索、放大、缩小、查询历史轨迹等操作，提高车辆运输调度效率。

3. 全方位动态监控

具备行车记录仪和倒车影像以及驾驶舱和乘客舱的视频监控，视频监控本地可以存储和查看，并支持远程动态监控，规范车辆运输行为，做到事后有据可靠。

4. 安全驾驶预警

实现关键弯道、坡道、岔口的安全辅助语音提醒，以及闯红灯、超速等违章提醒功能，辅助司机安全驾驶，提升行车安全性。

5. 实时监测功能

以 GIS 一张图为核心，通过构建矿山信息基础模型，显示电机车的实时速度、行进方向、位置，以及道岔信息、信号灯信息、车场信息和摄像机信息，通过对电机车运行的实时追踪，保障运输过程的及时性和高效性。

6. 权限管理功能

客户端程序安装在系统用户终端 PC 机上，根据安装位置不同分为井上客户端与井下客户端。支持多客户端的同时登录及使用，支持多级权限管理。

7. 基础信息管理

管理人员将车载设备、定位设备等系统设备的基础信息录入系统，根据需要进行设备的信息添加、删除、编辑等功能，同时进行系统设备更新、调换。

8. 行车视频监控

系统具备车载移动视频监控功能，可以将移动的视频监控信息传输到地面软件，管理人员可以实时点击查看机车运行视频监控信息。同时也可以将固定地点的视频监控信息传输至地面系统软件实时点击查看。

9. 视频监控功能

系统可添加及显示车场、弯道、联巷口、风门等重点场所摄像机，实时录像保存到预设的NVR中，实现井上人员实时巡检查看重要地点井下状况及其电机车的运行状态情况。

10. 防碰撞预警

根据电机车的运输管理要求，可设置电机车运行的安全距离，当两个电机车运行距离过近时，车载终端可以提示“车距过近，请注意安全驾驶”，同时发出蜂鸣告警，系统记录防碰撞预警信息。

11. 超速告警

如车辆在规定区间或位置出现超速，系统会自动弹出超速告警，并自动形成报表，和车辆信息、超速地点等相关信息，为后期执法管理提供依据。

12. 故障诊断告警

系统具有自诊断功能，地面调度中心可在监控终端查看设备运行状态，系统会对故障设备进行异常显示和告警，提醒应急维护人员及时准确处理。

13. 告警统计功能

提供车辆超速告警、闯红灯告警和基站告警、信号灯告警、LED显示屏告警、道岔控制器告警的历史和实时数据查询和导出

功能。

14. 联巷行车预警

电机车车头行至联巷口预设距离时，联动联巷口的本安显示屏循环播放“正在行车，禁止行人”的语音和文字告警信息，提醒附近的工作人员注意安全。

15. 设备异常告警

系统可以检测基站、信号灯、道岔和风门的工作状态，当设备发生离线时，系统可以自动记录并弹窗提醒。

16. 报表统计功能

系统可实现对车辆运行轨迹和运行时长自动生成报表，支持在线导出、查询等功能。

17. 统计分析功能

系统可以自动记录生成电机车运行时长表、车辆轨迹活动报表，为矿井安全生产提供依据。

18. 车辆轨迹回放功能

可选定车辆，指定日期进行车辆运动轨迹回放，重演现场状态，为分析事故原因、改进调度策略提供技术支持，便于分析日常车辆运行情况和工作管理。

19. 物料运输管理系统功能

物料运输管理功能是基于车辆的精确定位功能实现的扩展功能，其主要通过物料和车辆进行相互绑定，来实现物料的精确定位和运输管理功能。

20. 配置及管理功能

可根据领导、申请人、装车工三种不同的角色身份展示不同的统计内容。以便当前用户快速和精确的了解到自己所关心的数

据信息。

同时可根据用户权限对系统中的数据实现增删改操作，实现物料基础信息、人员基础信息、矿车基础信息的管理功能。并支持数据的批量导入功能。

21. 物料运输流程管理功能

（1）订单申请

当井下有物料需求时，可通过系统相关矿车申请模块进行申请。待审核通过后，可开始装车并按使用时间运达井下指定位置。申请人同时可以通过此模块了解申请单的后续状态。

（2）申请审核

申请人发起矿车申请后，需要经过领导进行审批后方可进入到下一个运输环节。当申请单审批通过时，系统会自动生成相应的运单。针对于审批通过的申请单，审批人在审核的同时需分配合理的矿车数以确保后续运输任务的进行。

（3）物料配送信息可视化展现

可向用户展示运单的基础信息和所涵盖申请单的详细信息，同时向用户展示当前时间点运单的运输状况。

22. 矿车 GIS 管理

通过系统中的 GIS 地图页面，可对当前井下运送中的矿车进行当前时间点下的位置展示。并可对数据实现增删改操作，实现矿车类型信息的管理功能。

23. 告警功能

（1）运单超时告警

对已超过物料送达时间，但尚未完成运输的信息的汇总处理。这些超时数据将通过该功能模块进行展示。其后台对于这些异常

数据的整理处理，在运单超时告警数据中的具体说明。

（2）卸货超时告警

井下物料运达并自动解绑后，需对物料矿车的卸车情况进行检查，对超时未卸货的矿车进行登记并反馈到后台系统。后台管理人员在获取这些异常数据后通过其他途径督促矿车卸货处理的推进工作。这些卸货超时的数据将通过该功能模块进行展示。

24. 井口检查功能

当矿车即将入井运输前，需对其装车情况进行检查，并对异常情况进行登记同时矿车也需返回整改。防止物料和车辆不对应，导致物料运输管理的混乱。

25. 报表统计及查看功能

以系统中申请订单为基础，可按月份、年份为单位，分别统计出每个自然月、年的物料申请情况，以供决策者参考使用。

26. 移动 APP 客户端查看和管理功能

移动 APP 客户端主要包含三个模块：运输中心、检查中心和卸货登记，对应整个物料运输管理的过程管理。

（1）运输中心

APP 运输中心包含根据不同个人权限登陆显示的个人中心工作台展示，显示当前的运单列表和运单的详细情况，显示申请运单的信息包含申请单号、申请人、申请部门、申请日期、申请矿车数量、未完成绑车提示、申请单状态；显示物料的绑定信息如：物料名称、型号/规格、计量单位、申请数量、分配数量、矿车类型、已绑矿车编号等。

（2）检查中心

当矿车在运输中心完成装车并开始运输时，需要在入井前进

行检查，不合格的矿车需要重新进行整改，只有检查合格的矿车继续往井下进行运送。该功能模块主要是提供给此类身份的人进行登记和查看等操作。

（3）卸货登记

矿车将物料运达指定地点时后台会自动实现解绑功能。但矿车中装载的物料是否按时完成卸货则需要通过人工检查的方式予以确认。如果卸货超期系统会记录超期，并生成报表。本功能模块主要是提供给此类身份的人进行登记和查阅等操作。

27. 井下调度对讲通信

车载终端基于 WIFI 信号传输，可以实现车辆与车辆之间、车辆与调度、车辆与手机之间的语音通话，提升调度效率。

28. 自动报站功能

当电机车到达站点时，附近的 LED 屏可以发出相应站点的报站语音，提醒司机提高运输效率。

29. 调度信息屏显功能

井下关键位置可安装矿用本安显示屏，实时发布车辆调度信息及井下巷道路况信息，实现弯道告警，提醒驾驶员安全驾驶，注意避让。每一台本安显示屏可独立信息内容发布，也可作为运输调度管理中标语、警示信息的显示发布，为井下电机车安全运行提供保障。

30. 智能交通管控

预设闭锁区域，电机车运行过程中根据信号机状态自动实现区间闭锁；同时地面调度员可以根据实际行车情况，手动切换信号机状态，实现一键绿灯功能。

31. 闯红灯告警

当电机车运行过程中发生超速和闯红灯问题时，系统会自动记录违章发生的时间、地点等信息，为后期的管理提供执法依据。

32. 弯道报警功能

在弯道或者三岔口安装语音声光报警器配置本安 LED 显示屏，系统可以关联 LED 显示屏，发出语音报警声“前方来车、注意安全”，并伴随光信号闪烁文字的告警，提醒附近的人员注意安全行车。

33. 数据共享服务

系统预留有与矿综合管控平台系统的数据接口，可实现与平台的信息集成和资源共享。同时，根据授权可以通过网络浏览，远程诊断系统运行状态。

34. 固定点视频监控

可实现绞车硐室、装配车场、巷道交岔口、挡车栏、架空乘人装置上下乘人点等关键位置的视频监控，用于监管人员查看井下关键位置人员、设备、环境情况，掌握现场情况。

35. 视频自动切换功能

系统视频展示画面支持根据绞车定位信息，实现视频画面自动切换展示，便于监管人员提前掌握绞车运行前方路况状态。

36. 绞车位置实时监控

通过传感器可实时监测到绞车的实时位置信息，在软件平台上以图形化方式实时显示车辆的具体位置以及位置数据，配合绞车控制系统作为辅助运行工具。

37. 远程控制功能

系统可通过上位机远程控制实现无极绳、斜巷绞车的启停控制，同时支持对无极绳、斜巷绞车沿线阻车器、道岔、挡车栏等

已接入的设备进行远程手动控制。

38. 语音对讲、打点功能

通过基于 WiFi 传输的数字对讲机及配套通讯主机,可实现分组对讲及打点、通讯功能,解决跟车工与跟车工、跟车工与绞车司机之间的通讯。

39. 声光预警功能

无极绳绞车运输过程中启停时,系统可通过 LED 显示屏发出语音、文字预警,提醒运输沿线人员注意安全。

40. AI 视频分析闯入闭锁停车功能

系统采用 AI 视频分析技术结合集中控制技术,在无极绳绞车运行过程中,当摄像机监测有人员从偏盘口、车场等地点闯入时,实现绞车运行过程中人员闯入闭锁停车功能,同时触发沿线的扩音电话、显示屏进行语音和文字的告警提醒,降低了运输事故的发生率。

41. 数据采集展示功能

系统支持采集无极绳绞车原系统的数字量和模拟量数据,例如电机电压、电机电流、设备运行信号、故障信号、低速报警信号、超速报警信号等相关参数进行数据采集和展示功能;实时监控沿线阻车器、道岔、挡车拦的状态并显示。

四、智能化建设成效

煤矿实现智能化、信息化、自动化生产是技术发展的方向,在矿井辅助运输系统上目前国内外并无本项目相关的系统进行应用,如本项目实施将极大提高华阳集团辅助运输的安全性,大幅降低司机和工人的劳动强度,智能化、信息化水平大幅提升,有效减少从业人员,大幅度提高工作效率。

（一）经济效益

（1）增效：该智能调度系统可重塑辅助运输安全生产管理流程，定量化、定制化管控运输服务和设备运转，大大提升管理效率。

（2）降本：辅助运输智能调度系统可明显减少管理成本，提高运输效率。

（3）减员：减少管理成本后的辅助运输管理系统可明显减少人员需求，实现减员目标。

（二）社会效益

（1）项目实施使得辅助运输系统具备智能化、信息化，进行集中管理，对于提高辅助运输系统的高效性、安全性、方便快捷等具有重要的示范意义。

（2）该项目的研究成功将产生较大的社会效益，同时具有广阔的产业化前景，预计将为一矿减少辅助运输系统从业人员10人以上，同时安全性大幅提升。对于煤矿减员增效起到带头和示范作用，并有效预防运行过程的安全事故发生。

案例 54 王坡煤业智能培训中心

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

天地王坡智能培训中心是公司立足于智能化矿山建设和公司人才培养需要，与煤炭科学技术研究院合作建立的集 VR 体验、实操教学以及多媒体教学为一体的综合型现代化智能培训中心。智能培训中心总面积 350 m²，由“一平台三中心”组成，即智慧培训管理平台、特种作业实操教学中心、体验式培训中心和培训考试中心。培训中心装备有特种作业实操装置、VR 行走平台等智能化培训设备 20 余套，以体验式、沉浸式为特点，是公司人才培养的主阵地。

二、技术特点及先进性

（一）以先进设备为依托，创建“三位一体”培训模式

公司以智能培训中心为载体，积极探索理论、体验、实操一体化培训模式，利用各类先进装置，通过多媒体教学、VR 体验、实操教学，让学员在培训中心实现理论与实践的结合，通过采用“三位一体”培训模式，培训工作成果显著。目前实操教学装置包括瓦斯检查工作业、井下电气作业等十大工种，VR 体验平台安装有三维矿井、灾害体验等六大系统 24 个模块。



（二）通过互联网与安全培训相结合，建成集“教、学、管”为一体的安全培训管理体系

公司通过建设智慧培训管理平台，实现培训组织、教学实施、考试归档全过程信息化管理，工作效率提升明显，使培训管理人员从繁琐的日常事务中解放中来，聚焦到人才培养等重点工作。



（一）引进前沿技术，实现培训跨越式发展

公司将虚拟现实、三维仿真等高科技引入教育培训工作中，使教育培训从传统的讲授式培训转变为沉浸式培训，从业务骨干中选拔兼职教师45名，运用实操教学平台针对性开展素质提升培训，采用三维动画、人机互动等新技术，让员工在身临其境中增强安全意识，掌握安全技能，通过新鲜有趣的学习方式，实现被动学到主动学的转变。



案例 55 晋保煤业长距离掘进通风技术研究应用

主要完成单位：山西忻州神达晋保煤业有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

山西忻州神达晋保煤业有限公司（下文简称“晋保煤业”）位于保德县城南 46km 处的南河沟乡扒楼沟村附近，行政区划隶属保德县南河沟乡管辖。

根据山西省煤矿企业兼并重组整合工作领导小组办公室文件晋煤重组办发〔2009〕26 号“关于忻州市保德县煤矿企业兼并重组整合方案的批复”，山西忻州神达晋保煤业有限公司为由原山西晋保煤业有限公司及新增区重组整合而成，整合后矿井生产能力为 120 万吨/年，隶属于山西忻州神达能源集团有限公司。

（二）建设内容

1、在矿井建设和生产过程中，都必须掘进大量的井巷，在掘进巷道时，为了供给人员呼吸新鲜空气，稀释掘进工作面的瓦斯及有害气体和矿尘，并创造良好的气候条件，必须对掘进工作面进行通风。而井下通风系统的有效、持续、稳定运行是矿井生产持续安全开展的关键保障之一。特别是随着矿井生产机械化程度的不断提升，井下采掘作业长度也不断增加，长距离掘进巷道在井下生产中的应用越发普遍，而如何确保长距离掘进通风的有效性也成为了矿井安全管理的重要课题，而我司为了保证人员人身安全，提出矿井长距离掘进通风技术的研发应用。

2、随着煤矿生产技术的不断发展，工作面的长度不断增加，

单巷长距离通风问题越来越多，为了解决解决单巷长距离掘进中遇到的问题，我们采用大直径风筒、改进风筒接头减少接头、提高风筒吊挂和维护质量、采用大功率局部通风机等方式来保证单巷掘进工作面的风量要求，来满足矿井安全生产的需要和高瓦斯长距离掘进工作面的要求。

3、采用大功率局部通风机，目前我国已生产有多种类型的大功率局部通风机，我公司掘进工作面采用压入式通风，局部通风机型号为 FBDN08.0/2×55 防爆型压入式对旋轴流变频局部通风机，配备 BPJI-160/1140SF 双电源双变频调速器，实现了“双风机、双电源”并且做到了自动切换。额定风量达到 980m³/min，额定风压达到 1500~7300Pa。再加上与大功率局部通风机相配套的直径为 1000mm 的高强度胶质风筒，是能够满足高瓦斯长距离掘进工作面通风要求。

4、采用大直径风筒，风筒的通风摩擦阻力与风筒直径的五次方成反比。风筒直径增加一倍，通风阻力减少 32 倍，因此在现场条件允许下，使用大直径风筒是降低风筒阻力、提高风筒出风口风量的有效途径。

5、改进风筒接头和减少接头，风筒的接头好坏直接影响到风筒风阻和漏风量。目前，风筒接头有插接、反边接和罗圈接等。插接是把风筒顺风流方向插到另一节风筒中，然后拉紧风筒使铁环靠拢，最后用铁丝在两环之间扎紧。这种接头操作简便，但漏风量大、不牢固，不适于长距离掘进通风。反边接头具有严密、牢固、漏风量小的优点。反边接头有单反边、双反边和拉链多反边等，其中拉链多反边接头是目前采用较广泛的一种接头形式。风筒接头是产生漏风和增加阻力的主要原因，所以，在长距离掘

进通风时，以减少风筒漏风和降低阻力，提高掘进工作面有效风量。

6、提高风筒吊挂和维护质量，风筒吊挂时要“两靠一直”，即靠帮、靠顶平直、不得挤压和损坏；拐弯时要使用弯头，异径风筒要用过渡节，风筒末端到工作面的距离符合作业规程的规定，风筒破口要及时粘补，以免漏风。采用柔性风筒时，要防止刮破，要用粘补或灌胶封堵所有的针眼，以减少漏风。

7、长距离掘进通风的安全技术管理，为了保证局部通风机连续可靠地运转，实行“三专两闭锁”装置即专用变压器，专用线路，专用开关和风电闭锁、瓦斯电闭锁。加强瓦斯检查和监测。配备了瓦斯监测传感器，设置专职合格的瓦斯检查员对有关安全问题进行检查监督。实施综合防尘。实行湿式打眼，风机头和各转载点设喷雾降尘。使用的电气设备，防爆合格率必须为百分之百，对电机进行综合保护，加强日常检修和维护工作。

8、测风员按期测定风机的风量，严禁风机产生循环风。为了减少风筒漏风和降低通风的阻力，风筒保持平直，需拐弯时，使用短接风筒过渡，并每班设置专人进行风筒的吊挂与维护。每班设置瓦斯检查员进行甲烷，二氧化碳，一氧化碳以及温度的检查工作，发现问题及时组织处理并汇报。

二、技术特点及先进性

1、长距离单巷工作面掘进通风技术应用以后，不仅有效控制了瓦斯超限事故，同时也提高了掘进工作面掘进速度，扭转了采掘接替的紧张局面，劳动效率得到了提高，掘进速度的提高使采面提前1个月投产。

2、长距离单巷工作面掘进通风技术的应用，使劳动效率得到

明显的提高，经济效益明显提高，同时职工收入得到提高，并有力的保证了职工的生命安全，保障了社会的稳定和矿井的和谐发展。

3、长距离单巷工作面掘进通风技术应用以后，实现安全生产是最大的效益。工作面若在施工过程中发生瓦斯超限事故，直接危及职工的生命安全，给国家、企业、家庭造成巨大的经济损失，同时发生事故后，直接破坏正常的生产工序，影响施工，因此说安全是最大的效益。

4、通过对矿井长距离掘进通风技术的研究，实现了新颖可靠且精准的技术，实现生产的自动化、智能化、高效性、解决现有制程问题、增强市场竞争力；显著提升公司的创新能力，同时为公司提供可靠、精准的生产技术。改善单巷长距离掘进工作面的通风效果，使公司单巷掘进工作面风量更加稳定、可靠。不仅提高单巷掘进工作面通风效果和掘进尺度而且降低工人的劳动强度，取得良好的经济收益，构建良好的创新环境，依仗着科学技术促进生产，优化工艺，节省能源、提高产能。

5、长距离通风的必要性

(1) 煤矿长距离掘进工作面因为其自身所处位置的特殊性，往往空气质量较差，作业环境较为恶劣，存在着较多的有害气体，容易致使内部工作人员受到严重伤害。从煤矿长距离掘进工作面空气成分构成上来看，除了氮气、氧气、二氧化碳等成分，还包含大量有害气体以及矿尘，比如一氧化碳、甲烷、二氧化硫以及硫化氢等，这些有害气体不仅仅会直接损害人体健康，还会明显增加出现火灾和爆炸事故的风险，成为当前煤矿长距离掘进工作面生产作业中不容忽视的重要安全威胁因素。

(2) 基于煤矿长距离掘进工作面在生产作业中面临的恶劣空气环境条件来看，为了营造出更为安全健康的空间环境，切实做好空气质量的改善工作极为必要。这就对通风工作提出了更高要求，应该采取适宜合理的通风技术手段，实现该方面危害因素的有效控制。因为煤矿长距离掘进工作面的特殊性，通风技术的应用难度同样也较大，不仅仅对于各个通风设施的选用提出了更高要求，同时也需要结合实际状况予以优化布置，以求更好提升整体通风优化效果，在降低安全事故发生几率的同时，确保作业人员的健康安全。

(3) 通过对长距离、大断面局部通风技术的实际应用，实现了最长局部通风距离 4500m，取得了良好的效果，保障了掘进通风安全。该项目的创新点在于推广、集成目前国内采用先进技术的大功率多级隔爆对旋轴流式局部通风机、高强度大直径风筒，不断优化局部通风布局，实现了常规局部通风管理达不到的高风压、长距离、大风量的通风能力，并依托超前构建的机械全风压通风系统，统筹规划矿建工程现场施工，不断优化矿井通风系统，实现了系统简单、阻力低、风量可控、调节幅度大的超长走向综采工作面通风系统，而且装备功率选择合适、经济实用、节能、可操作性强等优点，有力保障了特大型现代化矿井快速建设和超长走向工作面通风系统可靠稳定运行。

6、推广条件

(1) 该技术或管理经验的条件包括：

专业实力和技术支持：推广需要具备相关领域的专业实力和技术支持，包括矿井通风技术专家和工程师的支持，能够解决在推广过程中出现的技术问题和难点。

资金支持：推广需要一定的资金投入，用于研发、改进和购置通风设备，以及培训和技术支持等方面。

适用条件：该技术适用于需要长距离掘进的矿井，特别是对于通风效果要求较高的矿井。

推广过程中可能遇到的难点和采取的措施包括：

技术培训和交流：推广过程中，需要对相关人员进行技术培训，提高其对该技术的理解和操作能力。同时，组织技术交流会议和研讨会，促进经验分享和合作。

成本投入和效益分析：推广该技术需要一定的资金投入，因此需要进行成本效益分析，评估推广该技术所带来的经济效益和社会效益。这将有助于获得资金支持和决策层的认可。

政策支持和合规要求：推广过程中，需要关注相关政策支持和合规要求，确保在推广过程中符合法律法规和标准，避免可能的法律风险。

实地试验和验证：在推广之前，可以选择一些矿井进行实地试验和验证，评估该技术在具体场景下的适用性和效果，并根据实验结果进行改进和优化。

7、局部通风设备配置

名称	型号	数量	备注
矿用隔爆型压入式对旋轴流局部通风机	FBDN08.0/2×55kW（变频电机）	2台	
双电源双变频调速器	BPJI-160/1140SF	1台	
负压骨架风筒	FTZSS1000mm*10m	1500米	
涂覆布正压风筒	FTZSS1000mm*10m	3000米	
风筒挂钩		8100个	
开停传感器	GKT0.5L(485型)	4台	
风筒传感器	GFK30(485型)	1台	



图1 局部通风设备布置

案例 56 上榆泉煤矿智能装备应用

主要完成单位：山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司上榆泉煤矿

一、主要建设内容

为持续改善井下工作条件、降低劳动强度、营造安全、体面的作业环境，实现煤矿“减人、增效、增安”的目的，上榆泉煤矿在进行智能化建设时，除了对信息基础设施和采、掘、机、运、通等生产环节进行智能化建设外，积极引入新技术、新装备，在喷浆、开槽、巡检、设备列车移动、皮带收卷等环节应用特种机器人或其它自动化装备，在通风环节中，使用自动化调风设施，在选煤厂应用自制煤样采取装置等，极大程度特定岗位减少作业人员、提升作业效率，并在一定程度上保障了作业人员的安全。

二、技术特点及先进性

（一）喷浆机器人

上榆泉煤矿在用的喷浆设备为新式改进型湿式喷浆机器人，配备先进的 PLC 控制系统，并配套了遥控装置，司机可在距离喷枪头 10 至 20 米范围内选择任意位置进行操控，不与喷浆车任何部件直接接触，也可以躲避顶帮回弹料的侵害，回弹率可降低到 10%以下，相比以往使用干式喷浆机时回弹率高达 30%至 50%，大大节省了混凝土用量。使用防爆混凝土罐车运送湿喷浆料，可直接倾倒至喷浆车受料斗内，仅安排 1 人辅助卸料即可完成，不仅减轻了职工劳动强度，而且上料人员由原来 4 人减少至现在的 1 人，大大提高了人工工效。



图1 喷浆机器人

（二）开槽机器人

开槽机器人是一种以液压传动为动力的履带式行走设备，由行走机构、本体部、工作臂、后支撑、液压系统、水路系统、电气系统等七大部分构成，可实现井下巷道扩帮、抹角和开槽等作业。机器人可遥控远程智能操作，进一步保证了作业人员的安全，工效可达人工掏槽的6倍，较之前作业方式单班可减少2人，达到了减员提效的目的。

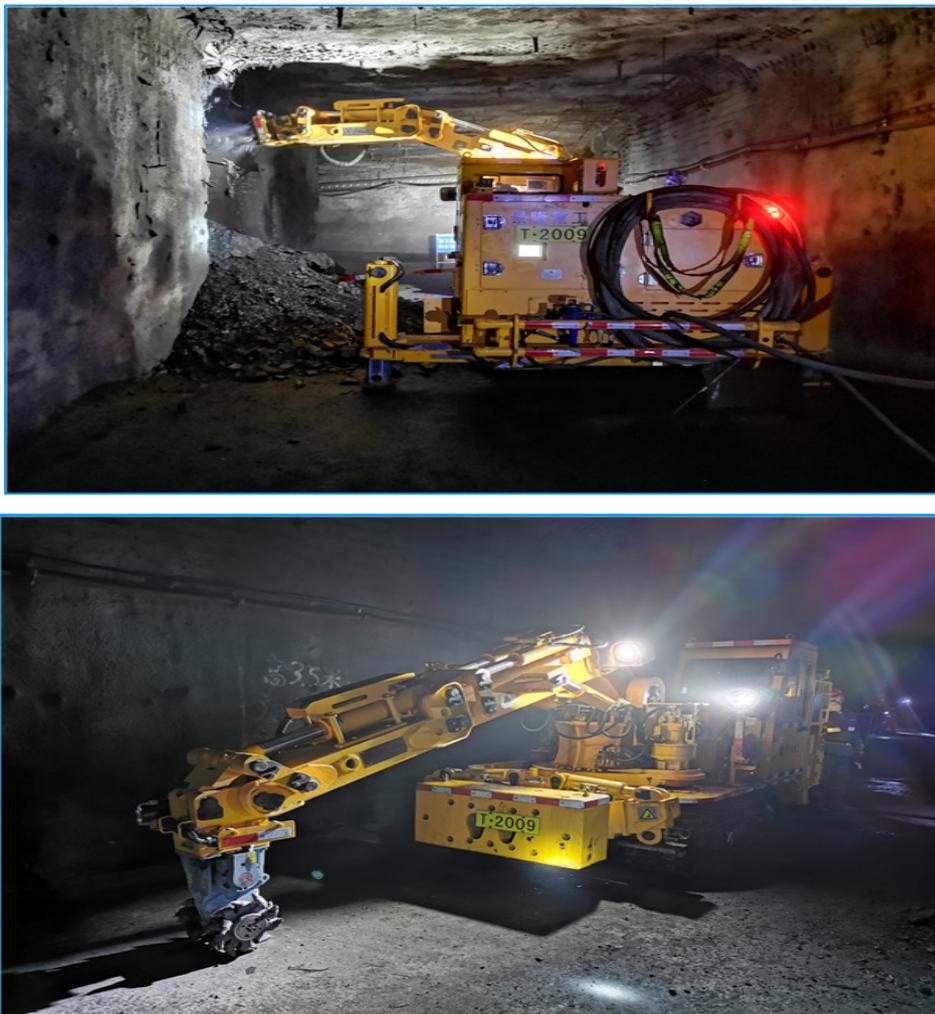


图2 开槽机器人

（三）自移设备列车

自移设备列车为分段手动操作液压操作阀实现设备列车的拉移,拉移列车效率低,同时在拉移过程中操作人员观察范围受限,移动范围内人员设备观察不到位,存在安全隐患。为进一步推进智慧矿山建设,满足智能矿山高效安全生产的需求。针对这一情况,该矿设计制作了电液控拉移系统,该系统可通过遥控器操作实现设备列车拉移,从而提高安全系数和工作效率。由原先需要几个人分别站在各个操作阀依次手动按下液压操作阀拉移,并安排专人监管列车拉移过程中电缆和管路的状态,变为现在通过使用遥控器便可以轻松的实现设备列车的拉移工作,而且可以通过

安装在设备列车上的摄像头及时了解设备列车上管路、电缆与煤壁的距离，有效防止拉移设备列车过程中电缆、管路发生刮卡。改进后的拉移方式极大提高了拉移设备列车的工作效率以及在保障人身安全方面显现出了巨大的优势。



图3 自移设备列车

（四）远程智能控制风窗

矿井风量管控是“一通三防”管理的核心任务，强化通风管理、提高灾害预警能力，始终是煤矿安全管理重中之重，该矿在持续加强通风设施标准化的同时，加快推进通风装备智能化建设，以科技创新力不断提升矿井安全保障能力。该矿此次投入使用的智能风窗装置采用气动驱动原理，由地面智能通风软件平台、井下控制分站、气动控制装置、气动马达、智能摄像头等组成。风窗既可在调度室远程也可在现场就地实现风窗通风断面大小调节，从而达到调节风量大小的目标，还可通过软件下达工作面需风量风窗自动感应调节风量。过去每次调风测风都要亲临现场，而且通风系统点多面广，行程十几公里下来职工都是大汗淋漓，

随着通风智能化建设项目推进，井下风门、风窗等设备与气体、风量等通风参数逐步实现智能远程化控制与自动采集，将极大减轻劳动强度，提升职工幸福感、获得感。同时，智能化装备的配套使用，将支撑通风系统的有毒有害气体超限、火灾等灾害处置实现远程化、智能化，过去处理灾变时需人员到现场操作，以后部分灾变处置需要的风流调节、短路、反风等任务可在地面完成，将不仅极大增强矿井灾变处置能力，进一步提升了职工安全感。



图4 远程智能控制风窗

（五）轨道式智能巡检机器人

上榆泉煤矿此次投入使用的智能机器人其具有基本的行走模块、充电控制模块、中央控制模块、多参数采集模块、5G通信模块、Wi-Fi 6通讯模块等。在具体工作过程中，能够实现实时采集、储存、传输现场的图像、声音、温度、烟雾、甲烷等数据，及时发现故障并迅速将巡检结果传送到终端设备。职工只需要根据传回数据，就可以快速调配维护人员进行精准维护，极大地提高了设备检修维护效率。



图 5 轨道式智能巡检机器人

（六）自制煤样采取装置

上榆泉煤矿洗煤厂 219、220 胶带用于块煤运输，因生产工艺要求，需要每天在生产期间对该皮带上的煤样进行一次采样化验，每次采样都需要将设备关停并且停电上锁，之后再由人员站在皮带上进行采样，费时费力且不安全。为进一步优化采样过程，提高生产效率，该矿相关技术人员经多次讨论试验，设计制作了自动采样装置。该装置以电液闸板为主体，在胶带机机头落料溜槽前端安装一块单开液压闸板，作为承接煤样的平台，其驱动装置选用两个长度为 1m 的油缸，当需要采样时，可操控现场启动按钮，液压闸板在油缸的驱动下，顺着闸板滑道到达机头落料溜槽处接取煤样，采样结束后可操作闸板回到初始位置，再由人员将煤样进行收集。该自动采样装置的使用，有效消除了人员生产期间上皮带采样给人员带来的安全隐患，同时该装置也实现不停车采样，提高了生产效率。



图6 胶带前端煤样采取装置

（七）混凝土搅拌运输车

在矿井生产建设中需要大量的路面及各类基础设施的混凝土浇筑工程，该矿使用混凝土搅拌运输车用于矿井下工作，具有机动性强、体积小、车身窄，高度低等特点。能同时完成搅拌和运输作业，运输效率增强，同时减少了职工体力劳动。



图7 混凝土搅拌运输车

（八）便携仪

将便携发放系统升级改造为无人值守智能发放系统，发放室内设置人脸识别、大屏语音播报及视频监控，员工可以自助领取、归还便携仪器，大大提高了发放效率。



图8 便携仪发放室

（九）皮带回收卷带装置

在煤矿井下，皮带担负着整个矿井的原煤运输任务，由于煤炭运输过程中会不同程度对皮带造成破坏，大大降低皮带的使用寿命。为了保证矿井原煤运输任务的安全进行，矿井工作人员需要定期对原煤的皮带进行更换，现有技术更换皮带时，需要耗费大量的人力将皮带使用绞车进行拖带，劳动强度大。该矿新投入使用皮带回收卷带装置材料投入少，制作成本低，通过减速机和电机连接，避免了人工翻转抽取折叠皮带，这不仅节约了人力、时间成本，同时也争取出了更多的生产时间，安全系数、工作效率大幅提升，职工劳动强度大幅下降。



图9 卷带装置

（十）主扇风机一键切换

为保障主扇风机高效运行，优化切换风机流程，缩短主扇风机切换时间，正常情况下可以实现远方一键控制风机的启停和切换，使井下风量在对风机操作过程中仍保持平稳过渡，实现井下不停风，尽最大可能避免切换风机过程中停风对井下的影响。风机主扇一键切换系统通过远程操控，实现风机正常运行状态下的一键切换以及故障状态的风机切换，节省了人力，切实提高了工作效率。

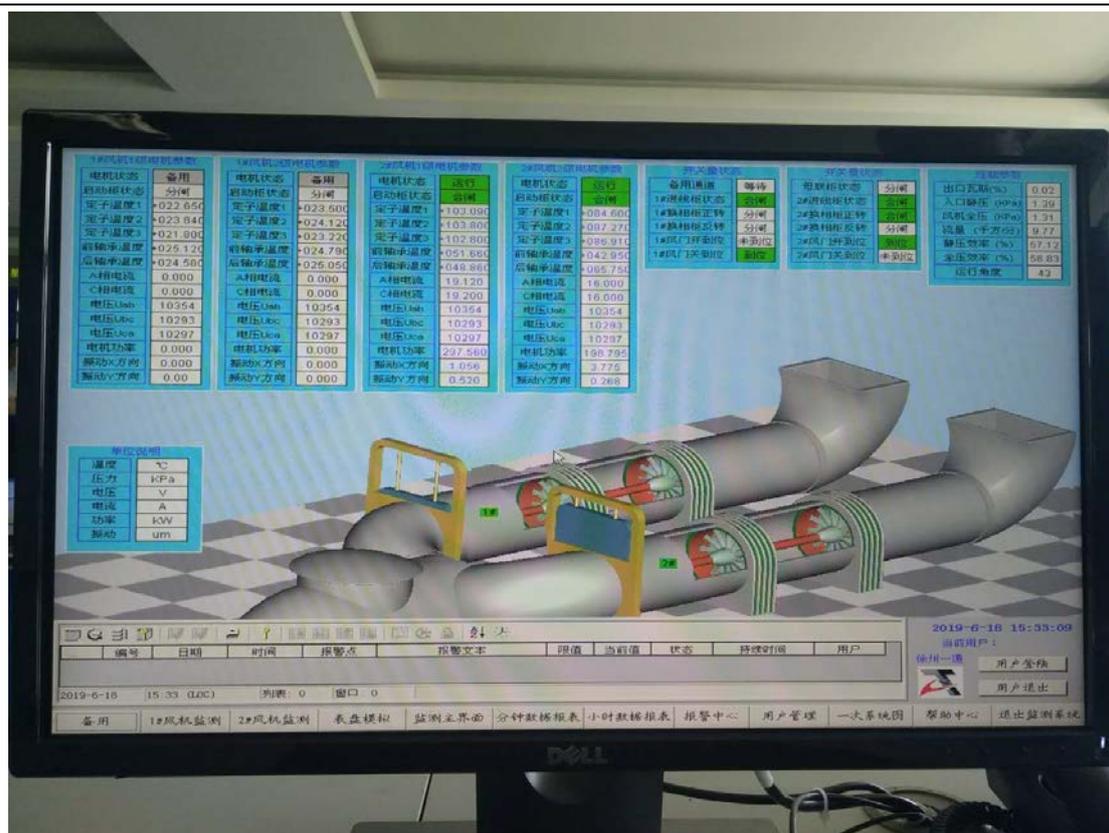


图 10 主扇风机一键切换系统平台

（十一）矿用卷电缆车

矿用卷电缆车是建设智能化工作面的一个关键技术，适用于大型煤矿井下移动设备的供电电缆收放。煤矿电缆拖移让综采队的职工头疼不已，不但人工劳动强度大，而且在收放过程中来回拖移，加剧了电缆的磨损，对安全工作不利。为解决存在的缺陷，技术人员研发设计了一种井下电缆收放装置，较好地解决了现场安全生产难题。通过“借力”牵引，利用外部动力驱动链轮，使卷筒转动实现卷电缆。达到电缆的跟机移动，实现电缆的自由移动，减轻了工人的劳动强度，提高工作效率。改造后，通过现场应用，该设备操作灵活，减轻了现场工人的劳动强度，提高了设备自动化程度，工作效率得到大幅度提高，为生产创造了更多时间，同时提高了经济效益。



图 11 矿用卷电缆车

第六章 智能露天煤矿建设

案例 57 东露天矿基于 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东露天矿

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 58 东露天矿边坡智能监测系统建设及应用

主要完成单位：中煤平朔集团有限公司东露天矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

中煤平朔东露天煤矿隶属于中煤集团，目前批复的生产能力为 2500 万吨。东露天矿位于宁武向斜北端东翼，整体上为一北东高、南西低的单斜构造，地层基本走向为 NW、SE 向，倾向 S45° W，地质构造复杂程度为简单类型。本区主要可采煤层为 4、9、11 号煤层。其中，4 号煤层全区大部分赋存，为全区最厚之煤层，平均厚度约 13 米；9 号煤层结构简单~复杂，平均厚度约 15 米；11 号煤层在中部、南部较厚，北部相对较薄，平均厚度约 5 米。综合评定，东露天矿煤层稳定程度为较稳定型。矿区内无水体，地下水的补给全部依赖于大气降水，区内地质构造简单，断裂分布较少，含水层富水性不强，水文地质类型为中等类型。采矿权证范围 48.4098 平方公里，查明资源量 18.43 亿吨，剥离采用单斗~卡车间断工艺，采煤采用单斗卡车-半固定破碎站半连续工艺，配套建设的铁路专用线运输能力 3250 万吨/年。

（二）建设内容

1. 建设方针

为保障东露天煤矿边坡稳定安全，动态掌握边坡稳定状况，消除现场安全风险，结合东露天矿边坡稳定性评价结果、工程地质条件的情况，制定了东露天矿边坡监测系统建设方案，对东露天矿重点区域开展 24 小时自动化监测工作，实现东露天矿安全生

产。

2. 建设目标

(1) 对东露天矿重点边坡监测开展实时采集、传输、计算、分析，主要包括表面监测，实时掌握露天矿采场整体运行的安全状态。

(2) 直观显示各项监测、监控信息数据的历史变化过程及当前状态，为安全生产管理人员提供简单、明了、直观、有效的信息参考。

(3) 研究制定各监测系统预警阈值及措施，监测系统实现自动化分级预警。

(4) 实现露天矿边坡安全监测系统的远程登录、远程访问、远程管理、远程控制和远程维护。

3. 系统功能

(1) 系统具有稳定可靠的采集、显示、存储、数据通信、管理、系统自检和报警功能。

(2) 系统具有远程控制功能，可通过 4G 网络对各监测系统进行远程操控，查看数据等功能。

(3) 系统可监控边坡的状态变化，在发现不正常现象时及时分析原因，采取措施，防止事故发生，以保证露天矿边坡稳定安全。

(4) 系统可定期进行观测数据的整编，为以后的设计、施工、管理提供参考资料。

(5) 系统可对观测资料进行分析，开展边坡情况鉴定，总结经验，为制定安全措施、评价边坡状态提供数据。

4. 详细内容

根据露天矿 2022 年底边坡稳定性评价结果，结合 2023 年度生产作业计划，边坡重点监测区域为北帮整体边坡和南帮破碎口上部边坡，建立 24 小时自动化监测系统。目前在东露天煤矿共建设边坡雷达监测系统 1 套，GNSS 移动监测系统 3 套、全站仪监测系统 1 套和倾角裂缝仪监测系统 7 套。主要情况如下：

(1) 边坡雷达监测系统布置于东露天矿南帮中部 1350 平盘，监测范围为北帮整体边坡，长度约 2.2 公里，高度约 200 米。现场监测系统包括雷达主机、滑轨、供电箱、备用电源、控制电脑和 4G 通讯路由器等，监测周期为 5 分钟，监测精度为毫米级，适合露天矿大范围边坡监测工作，监测数据可查看单独点、特征线及指定范围内形变量、变形速率、加速度、速度倒数等参数，并可以实现单个指标或多个指标联合报警，报警方式包括闪屏、邮件、声音等。

(2) GNSS 移动监测系统布置于南帮 4 煤破碎口上部 1320、1260 平盘，监测系统独立设置，自由搬迁，现场安装方便快捷，每套监测系统拥有独立的卫星接收机、卫星天线、供电模块和 4G 数据通讯模块，集成度高，监测最短周期为 10 分钟，监测精度到达厘米级，适合重点区域局部监测。通过网页端和手机端可以实时查看设备运行状态和监测结果，图文清晰直观，并可远程设置设备运行参数，监测数据包括三维变形量、变形速率和加速度，可通过短信、邮件、声音等方式报警。

(3) 全站仪监测系统布置于东露天矿北帮 1400 平盘，重点监测区域为 1400 及 1420 平盘红黏土区域边坡，现场布设棱镜监测点 10 个，监测范围东西走向约 300 米。现场布置智能全站仪、4G 通讯模块及备用电源，可远程操控监测系统，自由设定监测周

期，监测精度达到毫米级，数据自动分析，图文显示，通过邮件、短信等方式报警，适合重点局部边坡监测。

(4)倾角裂缝仪监测系统安装于东露天矿供电铁塔和北帮局部边坡区域，主要实现倾角及裂缝长度变形自动监测、分析、预警功能，倾角监测精度可达 0.001° ，裂缝监测精度达 0.1mm ，设备集成度高，低功耗，免维护，适合长期运行，监测数据实时通过4G网上传云端，通过网页端和手机APP端远程查看设备运行状态、监测数据、操控设备等，并可通过邮件、短信等方式报警。

二、技术特点及先进性

(一) IBIS~M 边坡雷达监测系统

IBIS-M 边坡雷达为意大利 IDS 公司进口产品，该产品基于微波干涉测量技术的高级远程监控系统，集合了线性调频率连续波技术、合成孔径雷达技术和差分相位干涉测量技术、永久散射体技术四项国际领先的技术，主要应用于矿山边坡、排土场边坡微小位移变化的监测，其主要指标为监测距离 5000m ，水平扫描范围 90° ，垂直扫描范围 30° ，监测精度达到 0.1mm ，监测区域为北帮整体边坡。目前边坡雷达工作方式分为滑轨式和旋转式，国内厂家已基本实现国产，设备性能已达国际先进水平。



图1 边坡雷达监测系统

（二）GNSS 移动监测系统

东露天矿 GNSS 移动监测系统集成卫星接收机及天线、数据传输、供电等模块，系统主机采用华测 P5 型 GNSS 监测系统，该设备是华测导航基于第四代智能平台研发的一款支持北斗三频的全系统全频点高精度 GNSS 接收机，主要用于北斗地基增强系统、矿山监测等方面，通道数 432 个，支持三星系统，静态测量水平 $\pm 2.5\text{mm}+0.5\text{ppm RMS}$ ，垂直 $\pm 5\text{mm}\pm 0.5\text{ppm RMS}$ ，监测区域为南帮破碎口上部边坡，目前该系统已实现国产，达到国际先进水平。



图 2 GNSS 移动监测设备

（三）全站仪监测系统

全站仪监测系统主要依托自动化智能全站仪设备，东露天矿智能全站仪为徕卡 TS60，操作软件为 GeoMos，该系统是针对监测应用进行设计的现代化大型多传感器自动监测系统，可以 24 小时不间断地监测传感器的控制管理和数据集成，实时地显示监测点的位移情况，实现可视化和数字分析。通过 4G 网络建立 GeoMos

软件与智能全站仪之间的连接，实现远程控制操作全站仪，按照特定的频次对已经扫描测量过的棱镜监测点开展安全自动化监测工作，监测数据实时传输回监控中心进行分析处理。监测距离 1500 米，测量精度和 ATR Plus 精度均是 0.5"，测距精度 0.6mm±1ppm，压电陶瓷马达每秒 180°，监测区域为北帮红黏土区域边坡。



图3 全站仪

（四）倾角裂缝仪监测系统

东露天矿该类型监测设备采用的是上海华测自主研发生产的 VF301 型低功耗多功能监测仪，该监测仪是基于低功耗物联网通信技术、采用低功耗 LoRa/NB-IOT 传输技术研制的小型化智能监测设备，内置高性能锂亚电池供电，能够在野外无源供电的情况下持续运行 3 年以上，设备小巧，易于携带、安装简便、即装即用。设备具备高精度角度、加速度、北斗、方位角、裂缝等多种

传感器与 Lora/NB-IOT 两种通信模块，具有低功耗、超长工作时间、性价比高，体积小，无须后期维护等显著特点。特别适用于对光照不足、安装条件恶劣的环境下进行震动、倾斜、裂缝等多种监测，设备性能达到国内领先水平。



图4 低功耗多功能监测仪

三、智能化建设成效

通过边坡监测“四大系统”的建立，大大提高了边坡巡视的工作效率。从以往边坡巡视“全覆盖无重点”，改进为重点巡视变形区域，根据边坡变形情况，优化调整巡视频率，降低了东露天矿边坡管理人力资源成本。同时，大大降低边坡技术人员现场工作量、缩短工作时间，减少外业安全风险。在安全风险管控方面，此系统的建立可实时掌握现场边坡稳定状态，为指导东露天矿采排设计提供参考依据，使矿方能够准确掌握矿区重点区域边坡情况，防范化解边坡事故的发生。

案例 59 东露天矿钻机无人驾驶值守系统的应用

主要完成单位：中煤平朔集团有限公司东露天矿

一、主要建设内容

（一）矿井概况

东露天煤矿隶属于中央企业中煤平朔集团有限公司，是平朔矿区规划建设的三大露天煤矿之一，位于山西省朔州市平鲁区榆岭乡平朔矿区东北部，矿田勘探面积 48.41 平方公里，截止到 2021 年底，剩余的可采储量 15.53 亿吨，境界内平均剥采比为 5.58m³/t。2021 年，东露天矿生产能力由 2000 万吨/年核增至 2500 万吨/年，剩余开采服务年限 57.6 年。选煤厂设计原煤处理能力 2500 万吨/年；铁路专用线正线长 27km，设计运输能力 3250 万吨/年。

东露天煤矿采用综合开采工艺，即剥离采用单斗挖掘机-卡车间断工艺；采煤采用单斗挖掘机-卡车-半固定破碎站-带式输送机半连续工艺。上部松散层采用外委模式，松散层通过挖掘机直接采装，卡车运输至排土场排弃；岩石及煤层采剥以自营为主，岩石穿爆后，使用电铲采装，卡车运输至内排土场排弃；煤层经穿爆后，使用电铲采装，卡车运输至一级破碎站破碎后，使用带式输送机运输到二级破碎站，再使用带式输送机运输至原煤筒仓。

（二）建设内容

1. 综述

平朔煤业有限责任公司是一个现代化露天开采的煤炭生产企业，矿山规模大、矿山布局复杂、生产设备密集，钻机无人驾驶值守系统的应用可使生产管理和设备管理同步提高，加速平朔公

司信息化、智能化建设的步伐。

钻机无人值守系统由钻机电控系统部分、车载智能控制、遥控和远程控制几个部分组成。根据露天矿钻机现场情况，CDM75型电钻驾驶操作基本为电器操作，相对简单，现场使用率高，因此对此类钻机进行改造。

钻机无人值守系统指在无人值守的情况下完成钻机的运行、钻孔和水平找正，包括在遥控状态和自动驾驶状态下完成以上功能。车载智能控制系统作为钻机无人值守系统的中枢系统，通过环境感知（视频监测系统、精准自动导航系统、平盘安全性监测系统和其它传感器信息），获取钻机当前位置与环境信息，并结合爆区自动布孔系统的布孔信息，在高精度定位辅助下控制钻机完成无人值守钻孔的功能。

东露天矿选择使用阿特拉斯 CDM75E 电钻进行研究，并设计了钻机无人值守系统，包括遥控状态和自动驾驶状态的功能。车载智能控制系统通过环境感知获取当前位置与环境信息，并结合爆区自动布孔系统的布孔信息，在高精度定位辅助下控制钻机完成无人值守钻孔的功能。在遥控状态下，操作钻机完成无人值守下的钻孔工作；在自动驾驶状态下，通过智能运动控制系统、多传感器数据信息和智能控制算法，自动生成可靠的运行指令，独立完成钻孔作业。

钻机智能控制技术包括电控系统、车载智能控制系统和远程遥控技术。车载智能控制系统结合环境感知系统、多传感器数据和智能算法，在精确导航定位的条件下，自动生成运行指令；在遥控状态下，可以接收遥控端的控制指令完成钻孔作业。远程控制中心可通过高性能无线通讯系统远距离控制钻机，即使在无人

值守情况下也能完成钻机作业。环境感知技术、高精度定位技术、高性能无线通讯技术、视频监控技术和车载信息采集技术，均用于提供有利的参考，实现钻机无人值守自动导航运行和安全监测。

2. 系统关键技术及组成

(1) 车载智能控制系统设计

1) 电控系统设计

钻机电控系统包括单片机、通讯模块和继电器模块。它的功能是接收车载智能控制系统发出的指令，然后通过继电器或模拟量输出信号来控制钻机液压系统，从而使钻机动起来。

A. 主要组成部分

a. 单片机控制芯片：STM32F103ZE 系统单片机

b. 通讯模块：具体通讯内容主要包括：控制反馈信息及运行指令

c. 电路控制模块：如图 1 所示

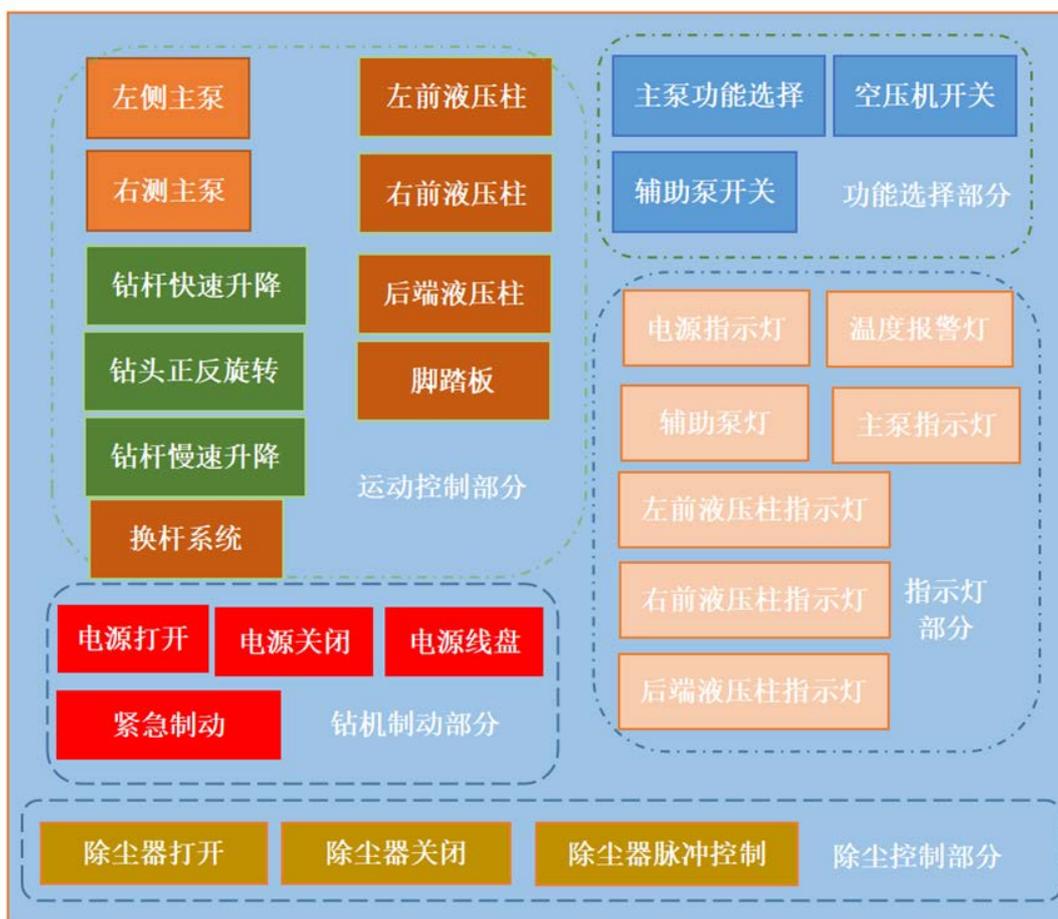


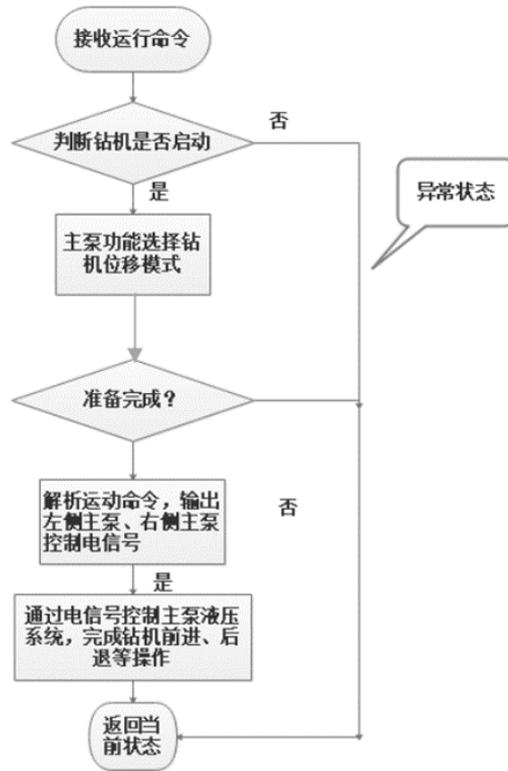
图 1 电路控制组成部分

B. 主要控制过程

电控系统完成的控制过程包括：钻机在无人值守状态下位移到目标钻孔->钻机水平位置找正->钻孔。具体如下：

a. 钻机位移：控制过程图如图 2 所示

图 2 电控系统控制位移过程



b. 水平位置找正：控制流程图如图 3 所示

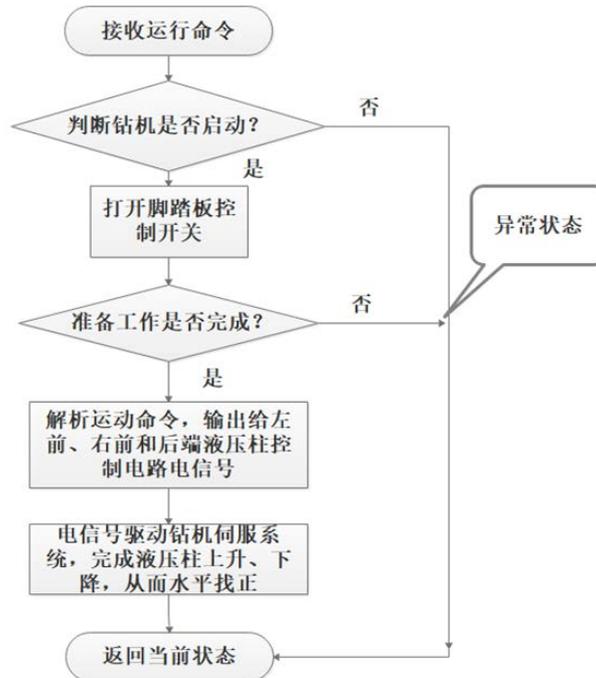


图 3 电控系统控制水平找正流程

c. 钻机钻孔：控制流程图如图 4 所示

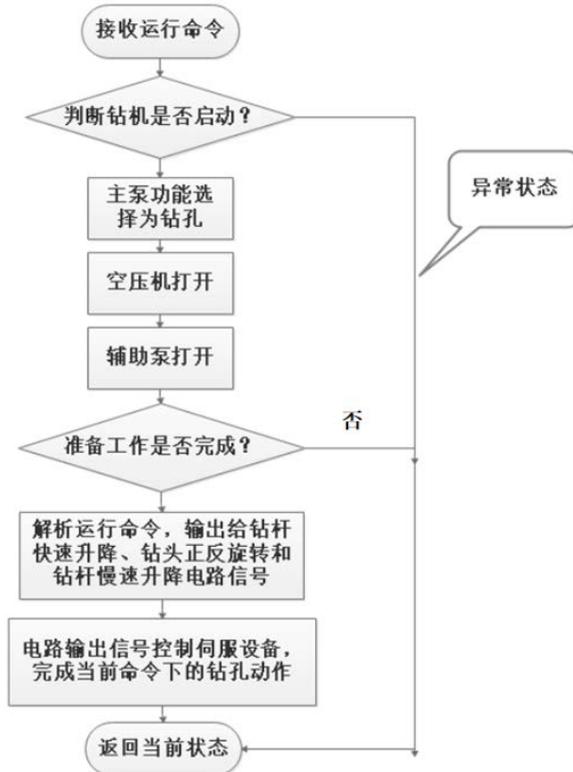


图 4 电控系统控制钻孔流程

d. 钻机换杆：控制流程图如图 5 所示

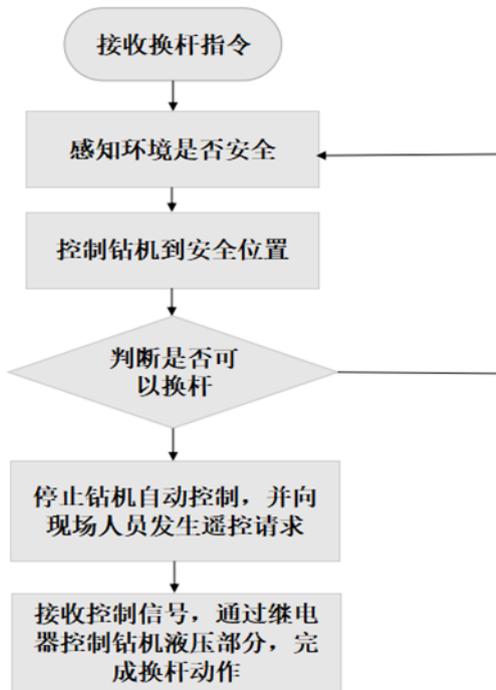


图 5 电控系统控制换杆流程

2) 车载智能控制系统研究

主要组成部分

- A. 嵌入式控制芯片：DSP C66x + ARM CORTEX A9
- B. 通讯模块
- C. 辅助系统：包括不间断电源 UPS 等
- D. 功能模块：如图 6 所示

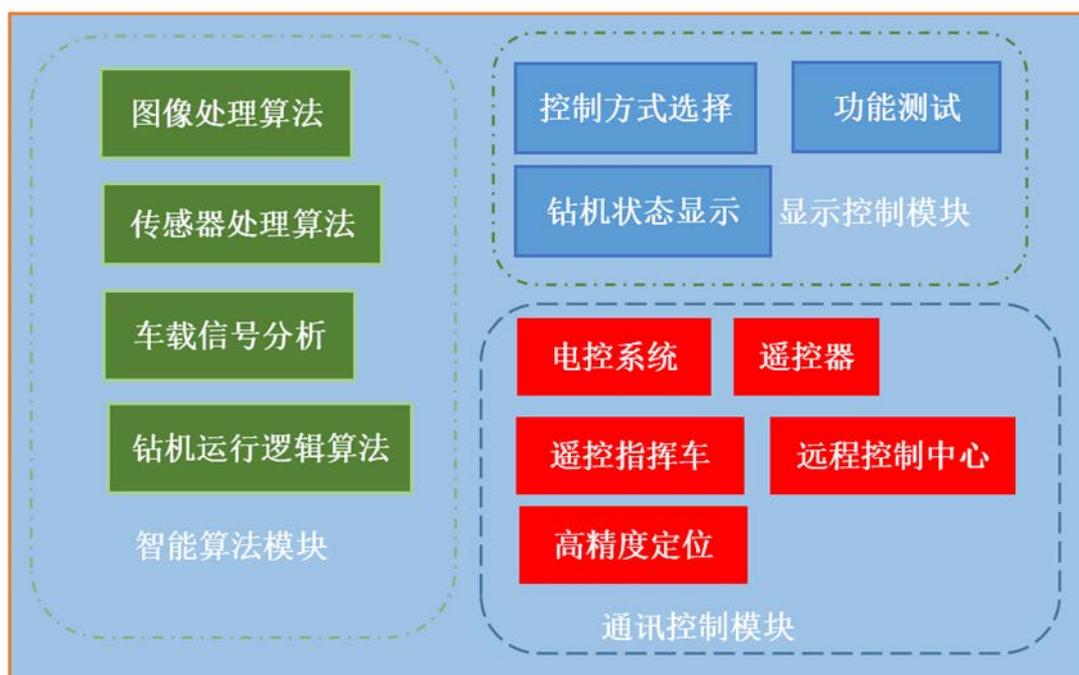


图 6 车载智能控制系统功能模块

(2) 远程控制中心设计

钻机远程遥控操作台如图7所示



图7 操作台

操作台分为两个部分：左侧是显示器部分和操作面板部分。左侧的显示器主要显示钻机当前的环境工作信息，包括周边信息、作业信息和钻机驾驶室信息。



图8 操作面板部分

右侧的显示器也分为两部分：左侧主要是钻机高精度定位导航地图，显示钻机状态情况，包括行走、钻孔和水平找正，其中左下角显示当前钻机水平状态情况；右侧主要显示现在钻机当前状态

参数情况，包括钻机 24V 电、支腿状态、风门、喇叭等状态，以及定位维度、精度等参数，和进给压力、旋转压力等仪表盘参数信息，供远程控制人员操作使用。如图 9 所示。



图 9 远程操作系统软件界面

图中的数值显示主要为钻机的经纬度，钻机水平位置，孔深编码器，线盘编码器，目标孔深打孔传感器等。

黄色模块表示钻机实时位置，左上角显示经度、维度和速度；白色点表示布孔地图的钻孔目标位置和编号，按顺序排列，红色连线指距离第一号钻孔的直线距离。

(3) 环境感知系统设计

在一定范围内，钻机无人值守状态下完成对钻机的控制，需要自动控制系统具备环境感知的功能，即自动分析周边环境信息，生成运行命令和钻孔命令。

1) 主要组成部分

- A. AI 边缘智能控制系统
- B. 视频图像处理
- C. 毫米波雷达

2) 功能说明

使用高清摄像头和毫米波雷达构建环境感知系统，获取钻机

三维地图并识别障碍物和断层，以确保作业安全。将环境信息输出到智能控制系统中的算法，得到准确的钻机运行指令。

3) 设计成果

钻机车载智能控制系统主要有 AI 边缘智能控制盒组成，AI 边缘智能控制盒主要放置在车载智能控制系统终端。

(4) 高精度定位技术

高精度定位系统包括差分基准站、车载 GPS 定位系统等组成。钻机无人值守状态下，输出准确的定位信息和布孔信息到车载智能控制系统，完成当前任务下的布孔作业。

1) 主要组成部分

- A. 三角定位算法
- B. 定位差分系统
- C. 爆区自动布孔

2) 功能说明

结合高精度定位技术、三角定位算法、三维导航算法和差分数据处理技术，实现高精度定位系统。并能通过指令精确控制钻机自动运行的导航姿态，实现钻机无人值守自动导航运行和对孔，满足高效、精确要求。

系统使用高精度 GPS（定位精度达 $<2\text{cm}$ ）和三维导航算法，使导航精准大幅提升（精度达 $\pm 5\text{cm}$ ）。如图 10 所示。

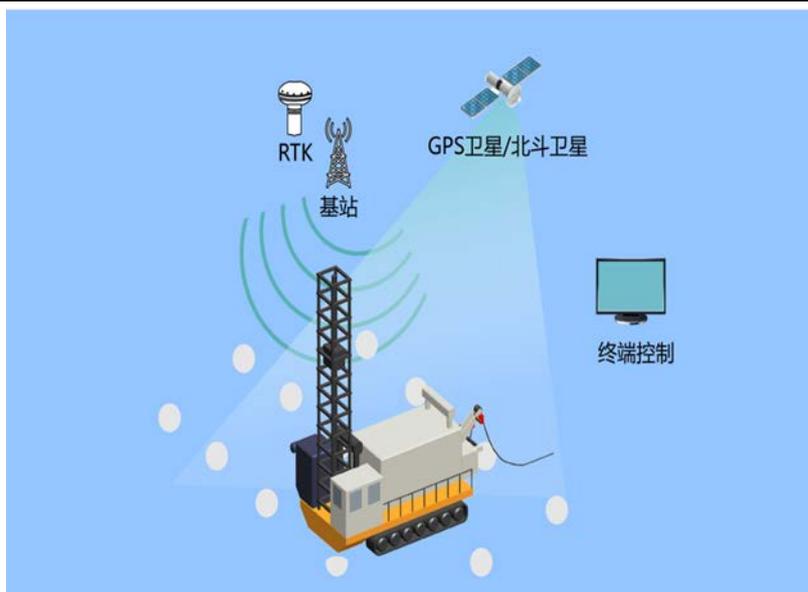


图 10 高精度定位系统

3) 定位系统安装搭建

高精度定位系统主要采取以北斗通信为主，GPS 等其他通信方式相辅助的多数据通信方式，极大的满足了现场通信稳定性的要求。具体钻机安装情况如图 11 所示。



图 11 高精度定位天线

钻机端定位系统分为两部分，接收器主要安装在钻机驾驶室内，而外部定位天线安装在驾驶室棚顶，如图中所示。高精度定位天线采用双定位天线方式，提高了系统定位的精度和稳定性。

(5) 高性能无线通信设计

为保证遥控器、远程控制中心与无人值守钻机之间的数据通讯的稳定，采用 4G+数字电台双冗余无线网络的方式(可选择 5G+电台)，使用多网并行的手段，保证通讯准确可靠。

1) 主要组成部分

- A. 宽带电台
- B. 4G LTE 通讯
- C. 5G 通讯

2) 功能说明

保证了远程控制中心、遥控指挥车和遥控器与车载智能控制系统之间的数据传输的稳定和实时性，支持网络对讲、视频、图片等多种数据的传输。如图 12 所示。



图 12 高性能无线通讯系统通讯传输

3) 设备安装

在钻机驾驶室外，以及在东露天矿集装箱处安装宽带电台、5G 通信设置。

将基于宽带无线电台的通信系统，最大通信带宽可以达到 10

OM，完全满足当前单台钻机的视频流传输要求。

视频监控技术

1) 主要组成部分

A. 防尘工业摄像头

B. 车载硬盘录像机

2) 功能说明

将车载摄像头安装在钻机周围和驾驶室内部，用于监控钻机的作业环境。并将视频信息通过高性能无线通讯系统发送到远程控制中心、遥控指挥车上，满足视频采集功能要求。如图 13 所示。

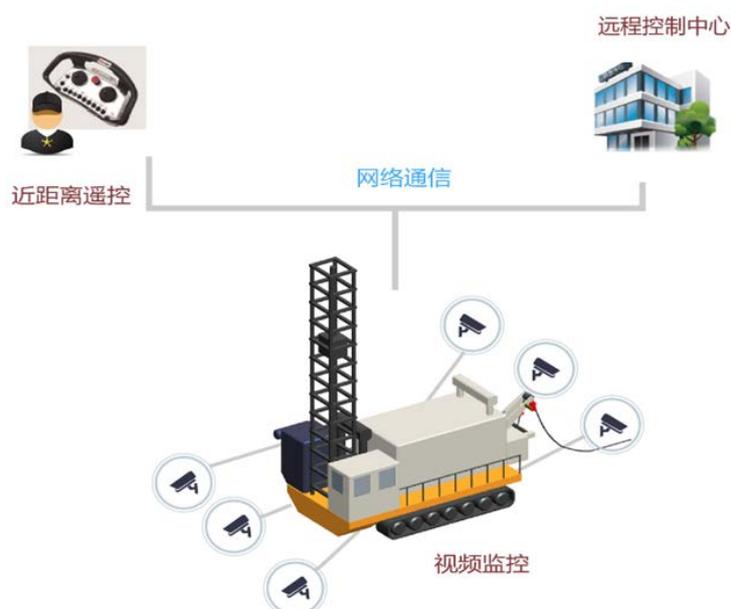


图 13 视频监控系统

(7) 车载信息采集系统

通过传感器获取钻机状态信息，包括钻机电源电压状态信号、空压机温度值、液压泵温度、空压机压力、钻杆进给压力、钻头回旋压力、钻杆振动信号、钻杆深度信号以及驾驶室内部的指示灯信息。将这些信息反馈到钻机控制系统，通过运行逻辑算法得到运行指令。

主要组成部分

- 1) 振动传感器
- 2) 编码器
- 3) 压力变送器

二、技术特点及先进性

（一）钻机作业平盘安全性检测技术

利用雷达和视频图像系统建立三维地图并获取环境信息，通过车载控制系统计算出安全的行进路线以避免障碍和越界风险。同时，利用视频监视系统对前方路况进行识别，对路障进行分类识别。基于倾角仪传感器，对钻机的水平倾角进行监测，当倾角大于标准值时，停止钻机运行，以保证钻机的安全。

（二）钻机作业的钻孔阻力、深度检测

在钻杆上安装位移和速度传感器，通过多源信息融合技术将辅助信息与振动检测结合，及时准确地反馈当前钻头的阻力情况。利用增量式位移传感器和测距传感器实现自动监测钻孔深度，精度高(<10cm)，满足控制系统的运行要求，为后期爆破提供基础，并避免因不合格的钻孔深度导致炸药的浪费，节省成本。

（三）钻机作业行进中的电缆管理

在钻机后部盘线轴上方设置电缆支架，将电缆托高，增加安全距离，减少履带碾压电缆的可能性。利用视频监测技术对电缆进行检测，控制电缆线收放，避免电缆线过长引起安全问题。合理安排行车路线，避免钻机对电缆产生影响和碾压等问题。

（四）应急预案技术

为保障正常生产和安全，特定了应急预案，在发生各种突发情况时，从发生原因、系统自动处理和如何恢复运行三个方面来

实施。主要情况包括：服务器和网络故障、关键设备通讯中断、钻机运行故障以及障碍物处理。若发生故障，系统会自动处理或停机，并由相关人员检查故障，排除后重新运行无人驾驶系统进行恢复。

（五）钻机故障监测与处理

在钻机的驾驶室安装了监测摄像头用于监测钻杆状态，并配合振动传感器共同判断异常情况并停机报警。针对空压机温度异常、液压油温度及压力等指示灯信号读取异常时，也会停机报警。同时，安装烟雾和温度测量传感器，将信息输出到车载智能控制系统，根据异常情况及时停机和报警。

三、智能化建设成效

东露天矿改造1台主力电驱动钻机，现已实现远程操控水平找正、自动布孔、自动作业，全部推广后每班1人可操控3台钻机，减人效率达80%，故障率减低一半，维修成本降幅65%，达到了国际先进水平。另外，针对以往钻机钻孔后需要人工护孔作业的情况下，研发出全国第一套专用护孔设备，不仅护孔效率和质量标准化得到大幅提升，其护孔时长仅为人工护孔的五分之一，而且极大减少了粉尘对职工职业健康的危害。

钻机无人驾驶值守系统在东露天矿生产过程中应用，应用结果表明：无人驾驶设备运行平稳，故障时间短，可用率高，维修投入成本远低于其他人工驾驶钻机每进米投入维修成本费用。从总体上看，经济效益处于优势，同时可以有效保障驾驶人员人身安全。

案例 60 平朔集团综合信息集成平台建设

主要完成单位：中煤平朔集团有限公司

一、主要建设内容

（一）矿井概况

中煤平朔集团有限公司组建于 1982 年，是中国中煤能源集团有限公司煤炭生产的核心企业，是我国主要的动力煤基地和亿吨级煤炭生产基地。平朔安太堡矿是邓小平同志亲自决策、亲自推动的我国改革开放初期最大的中外合作经营项目，项目“三年准备、两年建设”，以“三高一快”的平朔模式谱写了中国煤炭工业建设史上的辉煌篇章，推动我国煤炭工业露天开采水平一步跨越三十年，被誉为“中国改革开放试验田”。

经过 40 年的建设发展，公司共拥有 3 座年生产能力 2000 万吨以上的特大型露天矿，现代化井工矿 5 座，年核定产能 10040 万吨；配套洗煤厂 6 座，4 条铁路专用线总运输能力达 1 亿吨；化工产品合成氨产能 30 万吨，硝铵 60 万吨，煤基烯烃项目被列入 2022 年山西省重点工程；拥有 7 座参控股电厂，权益装机容量 151.25 万千瓦；在建及获批新能源装机总量 275.5MW。截至 2022 年底，资产总额 734 亿元，累计生产原煤 18.02 亿吨，外运商品煤 14.23 亿吨，缴纳税费 936 亿元，为保障国家能源安全、繁荣地方经济发展、带动行业进步做出了贡献。

“十四五”期间，平朔集团将聚焦“12345”发展战略，即锚定建设世界一流能源企业目标，弘扬平朔改革开放精神和右玉精神，建设煤炭保供核心基地、“两个联营”示范基地、高端煤化

工基地“三大基地”，实现安全发展、绿色发展、高效发展、智能发展，耦合发展煤炭、煤电、煤化工、新能源、生态“五大产业”。

（二）建设内容

1. 建设方针

“中煤平朔综合信息集成平台”项目建设充分体现“数字化、自动化、信息化、智能一体化”的战略思想，以适用、丰富、全面、及时的视频图像、数据和文字信息为基础，基于公司现有安全生产管理系统，通过融合多种监测、自控技术应用，将涉及安全生产指挥管理的信息集成到统一管理平台，掌握煤炭安全、生产、运输、销售等各个环节的信息，实现智能化管控和调度，保证各个环节的联动性，提高防灾、抗灾和应急救援应变能力，进而增强煤炭企业的市场生存能力、竞争能力和持续发展能力。

2. 建设目标

信息化、智能化是“中煤平朔综合信息集成平台”的核心体现，也是公司信息化对外展示的重要窗口。

为了使公司“中煤平朔综合信息集成平台”项目满足实际需要和长远发展规划，需要对公司及基层单位所涉及的安全管理（安全监测、人员定位、应急救援预案、瓦斯预警等）、生产过程信息系统集成（各矿井、露天矿、洗选中心产量监控、电网监测、排水/主运输/风机、供电供水、皮带集控运输，洗选车间洗选集控系统）、经营运销（原煤调入、洗选装车、铁运汽运、涨吨过横等信息）等相关情况进行整理、归纳与分析，以实现调度指挥的各项业务需求为出发点，从总体架构、技术方案、系统集成规范、实施策略等方面做出总体规划，对公司“中煤平朔综合信

息集成平台”平台进行总体技术设计，实现对下辖基层单位涉及安全、生产、调度、地测、运销等系统数据进行集成与基于综合可视化平台的业务综合应用，实现总调度室对现场各种信息的全面掌控，使“调度指挥中心”的信息平台建设能真正达到国内一流，国际领先的水平。

3. 系统功能

(1) 数据中心实现生产过程数据、生产管理数据、安全监测数据进行统一存储，统一实现对数据的备灾管理；规划并实现公司统一的自动化集成软件平台与管理信息软件平台，实现安全生产调度的过程数据与管理信息的统一处理，在此基础上实现专业分析决策支持系统。

(2) 生产中心将公司煤炭生产矿井、洗选厂等其他基层单位的生产过程信息通过自动化及工业电视系统集成实现远程监测，将公司煤炭生产矿井、其他生产厂点的各项生产过程业务管理实现统一软件平台化的集中信息处理展示，实现对矿井主要生产及辅助系统的生产工况参数、机电设备运行状态进行实时监测，包括皮带运输监控系统、通风机监控系统、压风机监控系统、井上下变电所监控系统、井下排水监控系统、GPS 卡车调度、救生舱信息等，真实地展示基层单位作业现场情况，并完成分析决策的支持。

(3) 安全中心将公司涉及安全方面的业务数据进行集成归类形成安全数据中心，包括安全监测监控系统、人员定位系统、厂区的环境监测系统，实现安全监测的远程预报警管理；将公司生产矿井的安全信息实现统一信息平台进行管理（应急救援指挥系统等内容）；对公司各矿井已实现的人员定位、安全监测、矿压

监测等安全信息实现信息集成，同时结合环境监测信息形成生产作业区域环境评估、紧急情况下的应急救援预案和救灾指挥管理，对未建设的矿井、子公司提出技术要求，按公司统一规划实现分类指导；集成现有风险预控管理系统数据，实现对二级单位安全隐患闭环的过程管理；实现对井工矿、露天矿的危险源预测预警系统，实现对危险源的分类重大危险源及其评价指标体系与预测预警系统。

（4）运营中心集成公司运销管理系统、生产调度数据，包括原煤入口联网、（即将实施的）汽运煤联网、铁运等数据计划、发运、实际销售、运销设备、客户、财务结算、票据以及对应的产品煤种煤质信息，实现运营数据的统计分析。

（5）调度指挥中心

建立生产调度综合管理系统，融合目前公司多级通信、视频及电话会议系统，满足公司生产调度、应急指挥、远程会议等多种应用需求，实现调度信息、调度电话、调度视频的融合。

4. 详细内容

综合信息集成平台主要包括数据中心、数据集中展示、危险源预测预警、产品煤跟踪、生产辅助管理、应急指挥、调度管理、系统传输故障统计、系统权限管理等主要功能。主要情况如下：

（1）综合展示系统

建立生产作业现实系统，通过模拟示意图、报表、图表，可实时监视各基层单位的安全、生产、经营状况，真实反映现场生产状况，有效提高安全生产监管效率。整个范围涵盖所有产、运、销、存、安全管理内容。包括主运、辅助运输、风机、排水、供电、产量监控、工业视频、安全监测、井下作业人员分布、应急

救援、调度报表管理、通风、卡调监测系统、煤质在线监测分析、皮带走廊安全监测、洗选车间设备运转、皮带搭接关系、煤场堆煤（数量、质量）等系统信息集成。可以通过分单位和分系统进行显示，当生产单位有异常/报警/预警时，突出显示报警/故障/预警相关信息。

（2）应急救援救灾系统

在各井工矿、露天矿、洗选中心、动力中心、提运中心等二级单位部署独立的为本单位服务的应急救援指挥系统，在公司层面的信息集成平台上建公司级的应急救援指挥功能模块，能及时接收各二级单位的指挥救援过程信息，及时向上级单位部门汇报救援情况，及时向二级单位发布调度指令。

建立应急救援管理系统，实现紧急事故情况下的应急救援指挥，通过共享数据为救灾提供必要的参考信息，从而提高抢险救灾的效率，有效避免事故扩大、减少事故造成的损失。

（3）生产调度管理系统

将提高集团以及各基层单位生产调度管理水平，为调度室标准化建设作出一定的规范化技术指引，主要包括计划管理、报表统计分析、调度通知、重点工程和重点区队管理。

（4）门户平台与统一权限认证

实现统一用户、资源、权限管理中心，实现各项子系统综合性数据采集，进行个性化服务展示，提供报表、图表等分析决策页面。对内提供安全生产调度业务平台，为安全监测系统、综合自动化集成、人员定位以及应急预案管理系统统一的登录以及个性化业务综合数据展示功能，日常调度办公事务，统一的用户、资源、权限的管理，对外进行通知公告、调度日志、调度会议等

的发布。

（5）危险源预测预警

1) 地质与水文：主要包括矿井地质及水文地质的基础信息管理（包括综采面、掘进面、断层等地质构造、切眼、贯通信息等），矿井地质预警信息定义，日常数据的维护（进尺、收尺、瓦斯指标测定、风量、淋水量等），处理流程定制，预警信息的自动提醒与流程启动，突发地质异常的填报、提醒与处理，历史预警信息的查询及统计，地质预警日报表等。

2) 机电设备：主要包括机电设备信息的管理与维护，预警信息定义，预警流程查询，及预警的自动提醒与处理等，还包括突发预警信息的填报、提醒与处理，历史预警信息的查询及统计。

3) 监测监控：主要包括瓦斯预警、报警流程的查询，实时瓦斯预警信息的浏览、查询与确认功能，瓦斯数据的实时浏览。通过接入安全监控系统数据，对测点进行实时监测、处理，根据测点的设置和一段时间内的历史数据，计算出该测点的预警状态，进行提醒和展示。

4) 通风瓦斯：主要包括贯通预警管理流程及瓦斯动力现象处理流程的查询，瓦斯指标的录入与查询，全矿风量及瓦斯抽采情况的汇报与浏览，还包括突发预警信息的填报、提醒与处理，历史预警信息的查询及统计。贯通预警信息的提醒及通风系统调整流程的处理。

5) 顶板管理：主要包括综采工作面和掘进工作面顶板预警管理流程的查询及突发预警信息的填报、提醒与处理，历史预警信息的查询及统计。

6) 供电管理：主要包括各变电所供电设备信息的管理与维护，

预警信息定义，预警流程查看，及预警的自动提醒与处理等，还包括突发预警信息的填报、提醒与处理，历史预警信息的查询及统计。

7) 综合展示：以图形化方式，对基层单位各类型不同的危险源，进行不同方式的定义展示，及时展示出各危险源的分布情况，鼠标移动该危险源上显示出该危险源的详细信息。同时可进行某固定区域的选择后，显示出该区域内的危险源列表明细信息。以方便于对下辖基层单位危险源的统一。

(6) 系统运维考核体系

对各种数据进行同比环比日历天数对比分析，对各厂、矿每天、每月、每年运行情况进行统计分析，直观的查看各影响生产的主要原因。建立系统考核评价体系，对各单位的数据准确性、完整性、各子系统的传输故障、员工上线率等统计评估，建立信息化系统的考核标准。

(7) 生产辅助管理

主要围绕生产计划和实际进度的管理，参考计划自动生成，以及生产计划的修改维护，计划的流程管理等方面来实现生产计划日常管理功能。计划可分为生产计划、工作面接续计划、搬家倒面设备配置计划和设备检修计划和实际进度的管理。

(8) 产量平衡系统和产品信息跟踪系统

1) 产量平衡系统

通过对安太堡露天矿、安家岭露天矿、东露天矿、井工一矿、井工三矿、北岭、小回沟、洗选中心等单位统一产量分析，实现对采矿区、原煤区、加工区、产品区和外运区的统一全流程的产量平衡，可方便的对统计数据进行了校正，以及动态的发现各计量

点的计量误差。

2) 产品信息跟踪系统

集成信息：取样方式、批车、车次、煤种、流向、首号、尾号、开装时间、装完时间、煤质指标、铁路过衡、到港时间、到达地点、港口过衡、港口指标化验、港口各品种存煤、港口实时销量及价格等。

同时以多种柱状、图表方式展示现场实时数据信息，以便于调度人员方便清楚查看现场各煤场煤种数据信息，及时了解过横、涨吨等数据信息。

根据需求定制具体的产品信息展示，同时使得企业能够紧跟市场变化及时按需求调整煤炭生产计划、调整品种结构，根据销售计划合理安排煤种流向和请车；及时采取响应措施最大限度减少亏吨；保证煤质的指标稳定，避免因指标不合格而发生调卸，保证集团效益最大化。

二、技术特点及先进性

该系统第一层：将井工矿、露天矿、煤炭洗选中心等生产单位的现场实时工况参数和生产数据通过数据采集服务器进行采集与传输；第二层：按统一的数据接口标准将采集、提取到的各类安全、生产、经营等数据在公司机房有机集成，完成数据中心建设。数据库分为实时数据库和关系数据库，分别用来存储安全生产过程监控数据和生产调度数据。第三层：搭建综合信息集成平台。集成所有基层单位生产运营数据并进行集中展示和分析。可以根据需求提取数据，以 WEB 形式提供统一的信息展示窗口；集成所有基层单位安全监测、人员定位、生产过程、安全生产系统，实现对基层单位生产现场的实时监视与集中调度。通过模拟示意

图、数据报表两种方式进行展现，其中安全生产画面及设备运行状态采用模拟示意图进行展现；安全生产统计信息以数据报表形式展现。

三、智能化建设成效

平朔公司通过把井工矿、露天矿、动力中心、煤炭洗选中心等部门涉及生产、安全、经营的主要数据进行整合、统计、分析，并进行公司运营状况的集中展示，一定程度上体现了大数据的系统架构；在煤炭、化工产业里，通过综合集成平台对数据的进一步分析，一方面可以对每台设备的故障“对症下药”，另一方面实现提前预警，避免安全事故的发生；在今后避免了信息孤岛的发生，二级单位可以及时反馈信息，促使管理层快速准确决策，极大地提升了公司的管理效率。

第七章 智能洗选建设

案例 61 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沙曲选煤厂

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

（一）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。

（二）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。

（三）研发以重介悬浮液密度、煤泥含量智能控制为内环，基于重介精煤灰分的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5.0 Mt/a计算，每年可增加销售收入6000余万元。

案例 62 王坡煤业装车智能管理系统

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。

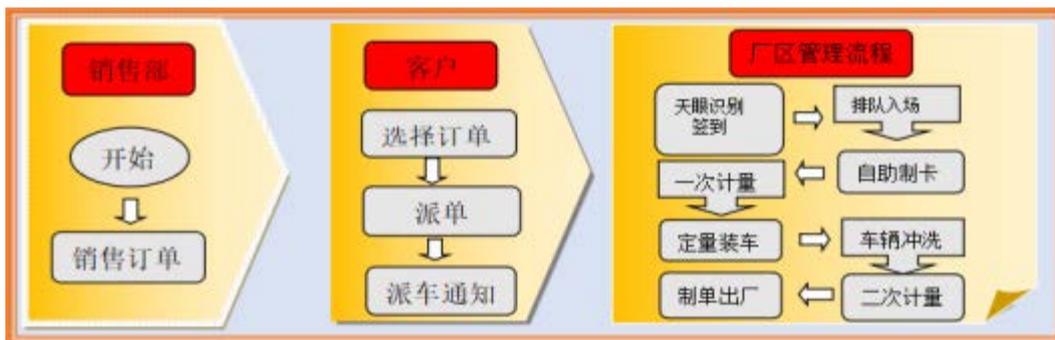


图 1 洗选厂公路智能装车系统流程图



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。

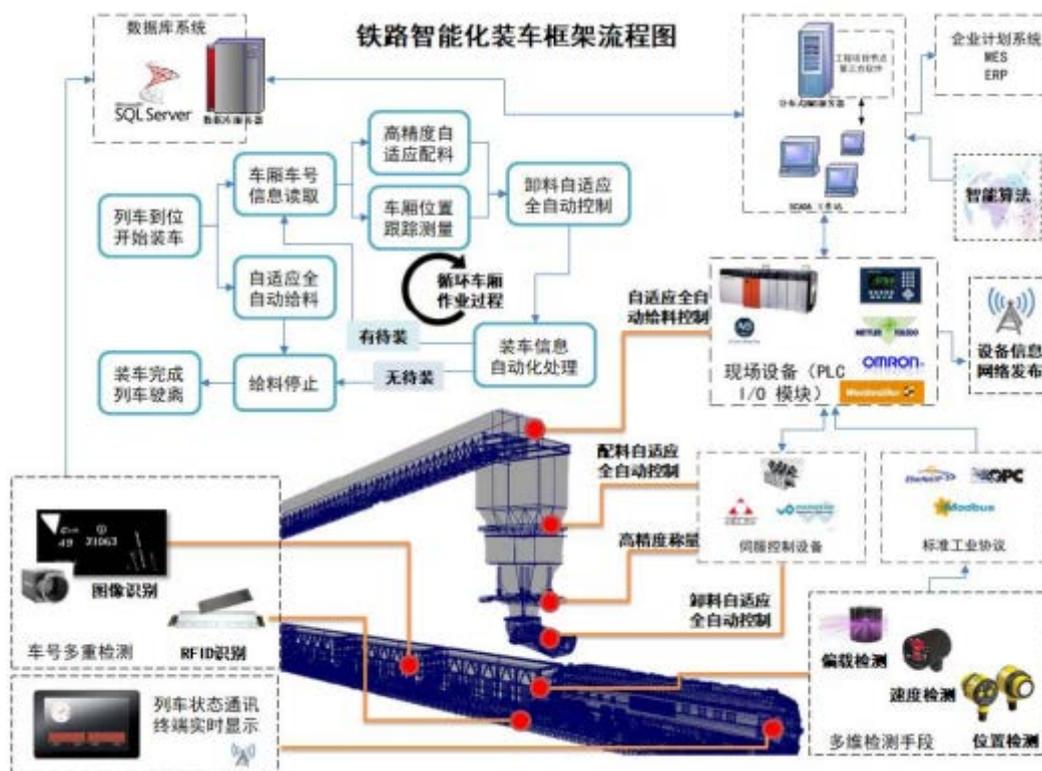


图3 洗选厂铁路智能装车框架流程图

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。

案例 63 王坡煤业洗选厂智能压滤系统

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）建设现状

山西天地王坡煤业有限公司（以下简称天地王坡）隶属于中国煤炭科工集团有限公司，建设规模 300 万吨/年，配套建有选煤厂和铁路专用线；井田面积 25.35km²，开采 3#、15#煤层，地质储量 2.1 亿吨；井田水文地质条件中等，煤层不易自燃，煤尘无爆炸危险性，无冲击地压危险，属高瓦斯矿井；现布置有两采五掘，分别为 3206 和 3308 综采工作面、3211 高抽巷、3217 回顺、3219 回顺、3303 运顺、3307 工作面小煤柱试验巷道掘进工作面，六大系统运行稳定可靠。

（二）建设内容

智能压滤系统基于专家知识的控制算法实现自动统筹补料、压滤机自动结束进料、多台压滤机自动排队卸料、滤饼远程监控以及系统安全闭锁，减少人员需求，提高生产效率，实现压滤系统自动统筹生产。该系统主要进行如下方面建设：

1. 压滤机远程监控

通过 PAD/上位机监测煤泥压滤机状态信息，包括松开、压紧、进料等各进程状态信息，实现远程切换压滤机手动/自动模式、松开、压紧、进料等信号下发。

2. 实现自动补料、自动判断结束进料

根据浓缩机澄清水液位、底流压力等特征参数，结合补料算

法实现自动补料；根据电流、滤液水流量等特征参数，结合自动结束进料算法实现自动结束进料。

3. 自动排队卸料

根据刮板机负荷计算，结合多机排队卸料算法实现排队卸料；基于智能视频分析系统将压滤机卸料视频实时回传。

4. 压滤生产统计

对压滤生产过程中板数、压滤机生产过程状态信息进行自动统计，同时可通过筛选设备、日期等条件，查询压滤机历史生产统计数据。

5. 药剂自动添加管理

将现有药剂自动添加装置接入管理信息系统。统计药剂消耗情况及历史情况；根据消耗生成消耗班报和月报。对药剂消耗情况进行监控，实时统计当前生产任务药剂消耗量及历史消耗情况查询，并在每班自动生成药剂消耗图表。异常药剂消耗情况的报警提示；自动生成每月药剂消耗和与同期、计划对比分析表。

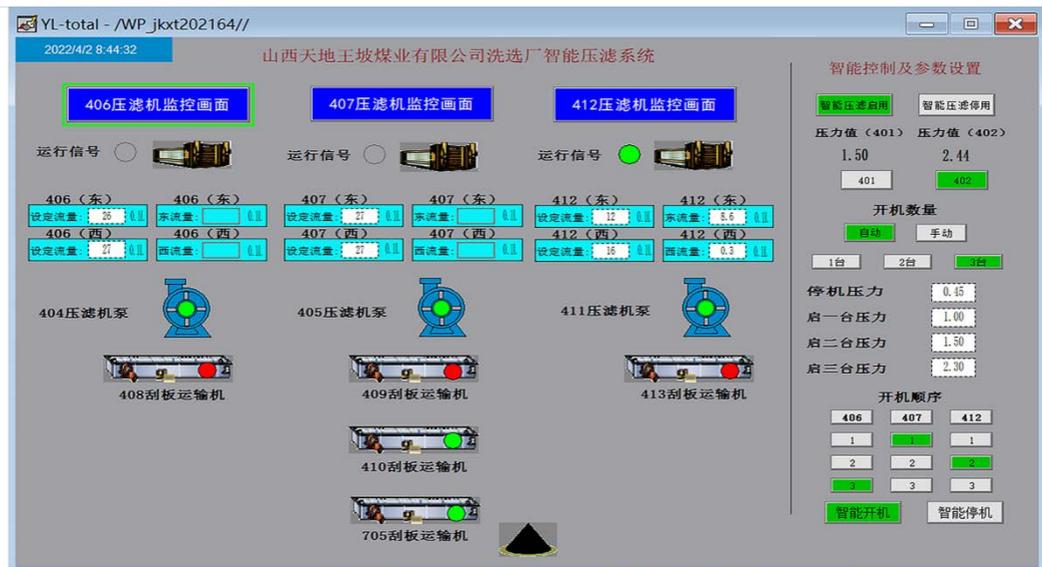


图1 洗选厂智能压滤控制系统图

二、技术特点及先进性

（一）技术水平及特点

智能压滤系统基于专家知识控制算法，现场增加通讯模块，将压滤机控制系统接入集中控制系统，通过安装微小流量滤液监测装置、入料泵电流检测装置等，根据滤液流量、电流情况实现自动统筹压滤、自动结束进料、多台压滤机自动排队进料卸料。同时，通过压滤远程自动控制系统，实现巡检人员在移动端、调度人员在洗选控制系统中可以对压滤过程的实时监测及控制；实现压滤机与刮板机、压滤机与压滤机之间的联动控制，实现煤泥压滤全过程的无人化控制以及压滤系统自动统筹生产，提高生产效率，系统安全闭锁可靠。该成果具有技术先进可靠、升级改造方便、适应能力强等特点。

（二）成果适用范围及先进性

压滤机作为选煤厂洗水闭路循环的把关设备，在湿法分选选煤厂中发挥至关重要的作用。智能压滤系统技术先进可靠、适应能力强，对行业内实现压滤机单机智能化、洗选厂智能压滤系统智能升级改造等均具有较强的适应性，项目成果直接应用于洗选厂压滤机智能改造生产实践。

项目成果在行业内首次采用压滤效果检测手段实现煤泥压滤环节的智能压滤系统，真正实现通过压滤效果反馈压滤流程的智能化管理，解决了煤泥压滤环节的智能化难题。

三、智能化建设成效

王坡智能压滤系统的建设成效主要体现在以下方面：

（一）经济效益：智能压滤系统投入运行后，压滤司机由每班 2 人减少至每班 1 人，减员 3 人。同时，通过智能压滤系统可有效控制产品水分，稳定产品质量，减少产品质量波动引起的经

济纠纷。

（二）管理效益：实现压滤过程自动停料，集控或移动端对压滤机的参数设定及工作状态实时检测，压滤司机由固定岗位转为人员巡检，安全可靠性和效率大大增加。

案例 64 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。



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 150t/h，选用 1 台 VCSA3600 型智能干选机，处理 13~50mm 粒级煤矸石，单台处理能力 200t/h。参数如表 1 所示。

表 1 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=3600mm 处理粒级：13~50mm 处理能力：Q=200t/h	套	1
	智能干选机平台软件	V2.0	套	1
2	往复式给料机	Q=200t/h	台	1
3	双层振动分级筛	筛孔 25mm, 13mm, Q=200t/h	台	1
4	螺杆式空压机	Q=45N m ³ /min, P=0.8MPa	台	2
5	冷干机(含油水过滤器)	Q=54N m ³ /min, P=0.8MPa	台	2
6	储气罐 1	V=6m ³ , P=1MPa	个	2
7	储气罐 2	V=12m ³ , P=1MPa	个	2
8	除尘器	风量 18000m ³ /h	台	2
9	原煤转载皮带(物料转载)	带宽 800mm	套	1
10	矸石转载皮带(物料转载)	带宽 600mm	套	1
11	精煤转载皮带(物料转载)	带宽 800mm	套	1
12	末煤转载皮带(物料转载)	带宽 600mm	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

（一）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。

（二）适用范围广

设备处理粒级能够分选6~20mm、13~50mm、30~80mm、13~20

0mm、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。

（三）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。

（四）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 万吨，实现夹矸及精煤 10 万吨左右，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。

（五）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：

（一）算法先进。设备智能化程度高，可自由交替选矸选煤方式。

（二）识别精准。图像识别系统精确、识别率高，煤质适应性好。

（三）一键操作。后台一键式操作，客户调取设备信息简单便捷。

（四）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。

（五）自主研发。电磁阀自主研发，频率高，更加稳定有效。

（六）节约人力。智能化高、操作简单，现场无需工人长期值守。

（七）故障自检。系统智能学习，故障可自检。

案例 65 吕能选煤厂选、供、销智能一体化管理系统的研究与应用

主要完成单位：霍州煤电集团吕临能化有限公司选煤厂

一、主要建设内容

（一）建设情况

随着互联网、物联网、云平台、大数据和人工智能等技术的迅猛发展，智能化选煤正在全世界蓬勃兴起，为响应政府“中国制造 2025”号召实现企业转型升级，提高信息智能化程度水平，增强企业竞争力，吕临能化公司选煤厂根据厂内部实际情况，结合内部行业技术水平和发展趋势，提出建设基于大数据平台的智能化选煤厂生产和管理系统及选煤标准数据库，用于开发选煤实时数据库，历史数据库，以及标准选煤数据库，最终实现统一的数据存储与共享，消灭信息孤岛，从而实现选煤厂各系统融合协作统一，信息集成，生产过程监控自动化和方法管理智能化。

智能化生产管理系统主要包括调度管理、煤质管理、运销管理、集控信息优化管理、机电设备管理、生产技术管理、成本管理、选煤协同管理和选煤标准数据库管理等模块。选煤厂智能化生产管理系统可满足选煤厂日常生产经营需要，提高选煤厂管理的整体水平，实现最佳效益，实现全厂生产各环节自动化，安全生产综合调试指挥和业务运转网络化，行政办公无纸高效化，最终达到降低设备故障，提高生产效率，挖掘企业经济效益，实现安全高效生产的目的。

（二）主要内容

选煤厂选、供、销智能一体化管理研究与应用，将管理信息化到企业生产经营和安全生产管理的全过程，推动管理创新和业务流程再造。它是根据选煤厂安全、文明、优质、高效地完成生产经营任务的基本要求，以实现选煤厂的动态管理、量化考核为目标而建立起来的信息管理系统，它具有及时性、经济型、安全性特点。

实现“管控一体化”信息化平台的建造主要由四级工业网络和 SQL 数据库组成。四级工业网络，即是指无线网络、办公网络、集控网络和 Web 实时发布网络。

（1）基于网络技术的选煤厂信息发布应用主要是对企业内部外的信息进行组织、分析，从而产生不同信息以实现如下两个层次的应用功能：第一层为企业过多信息的发布及对外信息的接受处理，如企业用户发来的信息和市场上的各种信息；第二层为企业内部的信息资源共享，如各种生产计划、出产状况和行政文件等。

（2）基于事务处理平台的新一代 MIS 应用，基于事务处理平台的新一代 MIS 应用，保留并扩展传统 MIS 应用程序，数据库应用，如生产统计、财务管理、劳动人事管理等，内置 Intranet 技术，在内部业务处理系统的基础上整合企业综合信息系统，面向前端，提供方便，灵活的信息查询和分析手段。利用 Windows 环境的 ODBC 驱动程序，原有应用系统和生产系统中的数据可以很容易地发布到 web 服务器上，并且能够动态刷新，用户通过浏览器就可以浏览全厂所有的信息资源。同时信息系统为选煤厂企业的决策者迅速而准确地提供决策所需的统计数据、生产信息

和背景资料，帮助决策者明确决策目标，实现生产经营决策支持系统。

（3）基于消息传递和工作流管理平台的办公自动化系统主要是信息(办公信息，文件以及档案资料等)发布和工作交流(日常办公活动和工作计划)管理，本系统充分利用计算机网络的通讯优势，以建成高质量、高效率的日常事务处理信息服务系统，为领导和职能科室日常办公提供服务，同时它也承担向信息资源管理平台输送办公文件信息、档案信息以及接受外部信息的任务。

选煤厂选、供、销智能一体化管理主要包括两大部分，选煤厂智能生产系统和选煤厂智能管理系统。各部分功能互相协作，完美融合，先划分为几大模块来满足选煤厂的功能要求，模块包括调度管理、煤质管理、运销管理、集控信息优化管理、机电设备管理、生产技术管理、成本管理、选煤协同管理、选煤标准数据库管理和移动终端平台，然后再集成为一个完善的智能管理系统来实现各个功能的需求。

选煤厂选、供、销智能一体化管理系统是实现“五化”建设的“上层建筑”，能够收集、整理、分析和保存全厂所有数字化信息资料，根据这些数据，对设备、资料等静态信息进行管理、查询等。在管理系统中，管理人员将设置各个设备的管理和维护信息，与集控模块转发过来的设备状态信息结合起来，针对对应的权限管理人员进行相应的设备维护提醒，以达到更好的维护设备，实现生产现场与管理的信息化、网络化。

选煤厂选、供、销智能一体化管理系统基于流程的全厂业务审批，主要负责收集、整理、分析和保存全厂数字化信息，完成

围绕设备管理和设备安全为核心的软件平台开发任务。通过系统的调研、科学的论证，围绕信息化，选煤厂会同有关专家共同确定了包括调度管理、煤质管理、运销管理、集控信息优化管理、机电设备管理、生产技术管理、成本管理、选煤协同管理和选煤标准数据库管理等模块，各个模块相对独立又信息互通，构成了整个系统运行的主体。

选煤厂智能化生产管理系统主要是以基于 B/S 架构的，用 C#编程与 Matlab 曲线拟合的交互混合编程来完成软件开发、参数预测、数据分析、拟合、计算，利用数据库的强大功能进行数据存储、输入、输出，以直观的人机交互界面方便用户操作。通过对 MES 软件系统的各部分功能介绍来充分了解生产管理系统各模块的开发应用情况。

二、技术特点及先进性

选煤智能化生产管理软件的建立，可以实现选煤厂生产信息处理的自动化，以最快的速度为生产经营管理人员进行决策提供准确的数据，使其能够以科学的手段合理地组织生产。

（1）系统所搭建的智能化选煤厂标准数据管理系统，全面记录选煤厂的生产实时数据与生产管理数据。

（2）智能化选煤厂标准大数据系统包括：生产实时数据与管理数据、各层级的数据字典。

（3）标准数据管理系统中标准数据的数据内容、定义、来源指向、逻辑与存储结构、内涵与特征、整理方法及输出方式等，均能符合选煤工作需求；智能化系统各功能模块与选煤标准数据管理系统之间的数据交换具备通畅、规范和标准的优点。

（4）所涉及到的信息保密性从软硬件两方面进行保障，分别通过配置用户权限管理和设置安全设施及防火墙实现；信息完整性从数据的深度和广度两方面保证数据存储内容的完整。

选煤智能化生产管理软件的建立在洗选行业内具有以下创新点：

（1）字典体系的研究

对采集数据进行内容筛选、定义、内涵确认、特征标识、存储等标准化处理，形成标准数据；协调国家、行业、企业各标准与用户实际需要，已经建立适用于不同管理层的标准字典体系，包括：行业通用字典、集团公司级数据字典、基层字典等。

（2）生产管理数据标准化

针对选煤厂生产、经营管理过程中所产生的数据，包括煤质、设备、调度等大量数据，编制了选煤分析需要的管理数据内容及数据特征标签，通过对数据结构标准化设计后，由选煤数据管理模块进行系统存储与清洗，统筹考虑离线管理数据与部分在线数据质量数据。

（3）生产实时数据标准化

建立了选煤生产实时数据库，有选择地记录自动化与控制系统实时采集的信号与数据，规划选煤分析需要的实时数据内容及数据特征标签，完成数据采集、存储、输出标准化。

（4）建立了字典管理系统、选煤数据管理模块、实时数据库之间的通讯及数据交换规则，实现实时数据、管理数据、标准数据的融合统一，无缝衔接。确保选煤数据平台与智能选煤系统各模块之间的数据交互及时通畅。

（5）生产管理系统的 App 端

App 端分屏显示生产计划的主要信息。业务员每天可将相关库存和余量信息通过手机 App 发给领导。外出人员可通过移动 App 实时监控重要设备及关键指标参数模拟量。设备故障信息采集后可以跟设备管理系统中的设备关联，通过 App 或 Web 分权限提醒。

三、智能化建设成效

《中国制造 2025》明确了智能制造是建设制造强国的主攻方向，要在重点产业和关键领域推进智能化升级。在全球步入以智能制造为导向的工业 4.0 革命的时代背景下，选煤必将向着高度信息化、自动化、智能化的方向发展。吕临能化选煤厂建设选、供、销一体化研究与应用，对提高信息智能化程度水平，增强企业竞争力，对于响应国家产业政策规划发展、选煤行业引导新兴科技、促进全国选煤厂智能化发展，起到积极的带头作用。

通过选煤厂智能化生产管理系统的建设，实现机电设备全生命周期管理，保障选煤厂运行效率的有效提升，日均生产时间缩短。通过选煤厂选、供、销智能一体化管理系统的建设，设备的维护和管理水平得到提高，每天可以为选煤厂减少故障停机时间，延长设备投入，减少易损件易耗件及材料的消耗，材料成本和维修费用整体降低约 10%。

2021 年选煤厂入洗原煤量为 858 万吨，回收率精煤煤质在没有变化的情况下比投产以来的精煤平均回收率提高 0.15%，精煤价格按 1038 元/吨，洗混煤价格按 329 元/吨计算，多创效： $858 \times 0.15\% \times (1038 - 329) = 912.5$ 万。