



文章编号: 1671-251X(2023)02-0141-08

DOI: 10.13272/j.issn.1671-251x.2022060103

## 保德煤矿智能综放工作面建设关键技术研究

邬喜仓<sup>1</sup>, 张学亮<sup>2</sup>, 阮进林<sup>1</sup>, 王志强<sup>3</sup>

(1. 国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司 保德煤矿, 山西 忻州 036600;  
2. 煤炭工业规划设计研究院有限公司, 北京 100120; 3. 北京天玛智控科技股份有限公司, 北京 101399)

**摘要:** 针对现有智能综放工作面建设的研究成果缺乏某个综放工作面系统化建设实施研究的问题, 以国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司保德煤矿81309智能综放工作面为研究背景, 在液压支架电液控制系统及综采自动化系统配置的基础上, 详细介绍了设备升级改造、有限透明开采模型构建、智能放煤工艺决策、煤矸识别方法优化、多模式融合集成控制等关键技术。①对采煤机电控系统进行国产化升级改造, 加装惯导系统, 配套光纤复合电缆/5G通信, 实现采煤机姿态及控制数据高效稳定传输。采用迈步自移设备列车系统并配套管缆伸缩装置, 实现设备列车拉移由1~2人完成。②对智能规划中心数据源中的地质模型进行迭代修正, 经过一系列换算和多源异构数据融合, 形成有限透明开采地质模型。③针对81309工作面一刀一放2轮顺序放煤方式, 构建了10个智能综放回采阶段并设计了对应的采煤机、综放液压支架、前后刮板输送机的动作和时间, 实现了中部跟机自动化采放、三角煤区域自动开采。④采用振动煤矸识别与视频煤矸识别相结合的方式, 建成智能综放煤矸识别系统。⑤以SAM型综采自动化控制系统为枢纽, 通过整合液压支架电液控制、视频监控、采煤机电控、三机泵站集控, 构建出智能化集中控制系统, 初步建成基于透明开采的“采-支-识-放-运”各环节自适应的综放开采工作面。调试结果表明, 81309综放工作面中部实现单班自动控制割煤4刀, 液压支架实现自动跟机拉架、联动收伸护帮/伸缩梁、自主推溜等功能, 智能化集中控制系统可一键启停生产系统, 对设备运行数据进行实时监控。

**关键词:** 智能综放工作面; 迈步自移设备列车; 有限透明开采模型; 智能放煤工艺; 煤矸识别; 智能化集中控制系统

中图分类号: TD67

文献标志码: A

Research on key technology of intelligent fully mechanized caving face construction in Baode Coal Mine

WU Xicang<sup>1</sup>, ZHANG Xueliang<sup>2</sup>, RUAN Jinlin<sup>1</sup>, WANG Zhiqiang<sup>3</sup>

(1. Baode Coal Mine, CHN Energy Shendong Coal Group Co.,Ltd., Xinzhou 036600, China; 2. CCTEG Coal Industry Planning Institute, Beijing 100120, China; 3. CCTEG Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing 101399, China)

**Abstract:** The current research achievements in the construction of intelligent fully mechanized caving face lack systematic implementation case for a specific fully mechanized caving face. In order to solve this problem, The 81309 intelligent fully mechanized caving face of Baode Coal Mine, CHN Energy Shendong Coal Group Co.,Ltd. is taken as the research background. Based on the configuration of hydraulic support electro-hydraulic control system and fully mechanized mining automation system, the key technologies such as equipment

收稿日期: 2022-06-28; 修回日期: 2023-01-15; 责任编辑: 王晖, 郑海霞。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51974290); 国家能源集团重点项目(GJNY-21-25); 天地科技股份有限公司科研项目(2021-TD-QN005)。

作者简介: 邬喜仓(1984—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 工程师, 主要从事采煤一线管理与技术研究工作, E-mail: 10015331@ceic.com。

通信作者: 张学亮(1984—), 男, 山东临朐人, 副研究员, 硕士, 主要从事采煤方法与工艺、矿山压力与岩层控制、智能化开采技术等方向研究工作, E-mail: zhang123xp@aliyun.com。

引用格式: 邬喜仓, 张学亮, 阮进林, 等. 保德煤矿智能综放工作面建设关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(2): 141-148.

WU Xicang, ZHANG Xueliang, RUAN Jinlin, et al. Research on key technology of intelligent fully mechanized caving face construction in Baode Coal Mine[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(2): 141-148.



扫码移动阅读

upgrading and transformation, limited transparent mining model building, intelligent coal drawing process decision-making, optimization of coal gangue recognition method, and multi-mode fusion integrated control are introduced in detail. ① The localization upgrading and transformation of the electric control system of the shearer is carried out. The inertial navigation system is installed. The optical fiber composite cable/5G communication is supported to realize efficient and stable transmission of attitude and control data of shearer. The equipment train can be pulled and moved by 1-2 persons by adopting step-type self-shift equipment train and pipe and cable expansion device. ② The iterative correction on the geological model in the data source of the intelligent planning center is carried out. The limited transparent mining geological model is formed through a series of conversions and multi-source heterogeneous data fusion. ③ In view of the sequential coal caving mode of "one cut, one caving and two rounds" in the 81309 working face, 10 intelligent fully mechanized caving mining stages and the corresponding actions and time of shearer, fully mechanized caving hydraulic support, front and rear scraper conveyor are constructed. The automatic mining and drawing in the middle and automatic mining in the triangle coal area are realized. ④ The intelligent coal gangue recognition system of fully mechanized caving is built by combining the vibration coal gangue recognition and video coal gangue recognition technology. ⑤ With the SAM-type fully mechanized mining automation control system as the hub, an intelligent centralized control system is constructed by integrating the electro-hydraulic control of hydraulic support, video monitoring, electric control of shearer and centralized control of pump stations of three machines. The intelligent fully mechanized caving face with adaptation in all links of "mining, support, recognition, caving and transportation" based on transparent mining has been initially built. The debugging results show that the middle part of 81309 fully mechanized caving face can realize the automatic control of 4 coal cutters in a single shift. The hydraulic support can realize the functions of the automatic following machine and pulling frame, linkage receiving and extension guard / expansion beam, and automatic pushing and sliding. The intelligent centralized control system can start and stop the production system with one key, and monitor the equipment operation data in real-time.

**Key words:** intelligent fully-mechanized caving face; step-type self-shift equipment train; limited and transparent mining model; Intelligent coal drawing process; coal gangue recognition; intelligent centralized control system

## 0 引言

我国煤炭产量中约有 44% 是来自 3.5 m 以上的厚煤层,除大采高综采外,综放开采是我国厚煤层开采的主要方法。近年来,煤炭开采智能化水平不断提升,依托智能综放工作面建设,实现安全高效智能综放开采是当前煤炭行业亟需解决的问题<sup>[1-5]</sup>。

我国综放开采先后经历了综合机械化、自动化和智能化等发展阶段,目前处于智能化初级阶段,正在由单机自动化、系统集成化向单机智能化、系统智能化方向发展<sup>[6-7]</sup>。智能综放工作面建设是实现智能综放开采的必要途径,对于全新设计的智能综放工作面,可以进行一步到位的系统装备配置,进而完成智能综放工作面建设目标;现有的综放工作面可以借鉴煤矿智能开采技术与装备,采取技术升级改造等措施,达到智能综放工作面建设要求,进而实现智能综放开采的目的。

目前,国内外专家学者已对智能综放工作面建设及相关技术进行了广泛研究,并取得丰硕的成

果。在智能采煤(含综放)工作面概念模式方面,葛世荣<sup>[8]</sup>基于时间维度梳理了智能化采矿概念,提出智采工作面定义——一个在不同程度上无需人工干预而独立完成采煤作业的生产系统,指出智采工作面的基础是智能机器,其特征是自主操控,功能是独立作业,目的是无人化开采。王国法等<sup>[9]</sup>给出了智能化采煤工作面的定义,建立了智能化工作面指标体系数学模型,提出了智能化工作面分类、分级评价指标体系与评价方法,将智能化采煤工作面分为高级、中级、初级 3 个级别。王国法等<sup>[10]</sup>针对不同煤层赋存条件,提出了薄及中厚煤层智能化无人开采模式、大采高工作面智能耦合人机协同高效综采模式、综放工作面智能化操控与人工干预辅助放煤模式、复杂条件机械化+智能化开采模式等 4 种煤矿智能化开采模式,分析了放顶煤工作面与一次采全高工作面智能化开采模式的差异,提出了基于时序控制放煤、自动记忆放煤、煤矸识别放煤等智能化放煤控制逻辑与工艺流程。在智能综放工作面开采理论与技术方面,于斌等<sup>[11]</sup>对特厚煤层智能化综放开

采理论与关键技术架构进行了探讨,指出智能化综放开采是未来综放开采技术发展的重要方向,提出了要解决的关键科学问题和技术构想。张守祥等<sup>[12]</sup>针对智能综放开采控制问题,按照放煤过程“放煤前、放煤中和放煤后”3个阶段对所需的技术装备进行了探讨,放煤前采用透地雷达探测顶煤厚度以确定放煤基点,放煤中采用三维雷达扫描未放顶煤空间,放煤后采用煤矸识别技术检测煤矸比例,为综放开采放煤口开口大小及关闭提供控制信号,达到综放开采放煤无人操作的目标。张学亮等<sup>[13]</sup>对厚煤层智能放煤工艺及精准控制关键技术进行了探讨,阐述了基于振动信号检测、音视频检测、灰分在线检测的智能放煤工艺原理,通过相关技术装备的应用实现总体采放效率提升约20%。秦文光<sup>[14]</sup>对山西王家岭煤业有限公司王家岭矿综放工作面智能化协同控制方案进行了研究,实现了工作面各系统监控信息的全面融合与智能匹配。韩秀琪等<sup>[15]</sup>对综放工作面自动运行与人工干预分析系统进行了研究,定义了智能综放工作面自动化率及放煤工作面控制系统开机率、液压支架自动跟机移架率、采煤机记忆割煤率、自动放顶煤率等关键指标,建立相应知识库,并分析人工干预原因,为生产系统控制逻辑的优化提供依据。王家臣等<sup>[16]</sup>研究了图像识别智能放煤技术原理及应用,针对混矸率识别问题,将混矸率细化为透明面积混矸率、表面体积混矸率、内部体积混矸率,建立轻量级的煤矸识别边界测量模型,提出了快速写意重建和精准重建2种煤矸石块体三维重建方法,提出了适应低照度高粉尘环境的立体视觉照度智能监测与自适应调节方法及相应的去粉尘算法,提高了放煤工序的智能化水平。袁源等<sup>[17]</sup>针对顶煤放落过程煤矸声信号特征提取与分类进行了研究,构建了放顶煤声信号分类样本库,研究了6种常用机器学习分类方法对样本的分析特征,指出基于小波包分解与随机森林算法的分类器性能最好,准确率达到93.06%。曹贯强等<sup>[18]</sup>研究了用于煤矸识别的振动传感器,利用加速度计采集尾梁振动信号,并对采集数据进行滤波处理,利用傅里叶变换对数据进行功率谱分析,测试表明传感器测量误差在1%以内,现场实测表明该传感器能够识别出顶煤和矸石。

上述成果对智能综放工作面建设具有重要的指导意义,但是没有针对某个综放工作面进行系统化建设实施的研究。本文以国家能源集团神东煤炭保德煤矿81309智能综放工作面建设为研究背景,系统阐述该智能综放工作面中高级智能化建设过程中涉及的关键技术,为类似条件的智能综放工作面建

设提供借鉴。

## 1 综放工作面概况

保德煤矿为高瓦斯矿井,生产能力为800万t/a。81309综放工作面开采8号煤层,地面标高为+908~+1134m,底板标高为+607.5~+650.1m。工作面倾向长度为240m,推进平均长度为2575m。煤层平均厚度为7m,煤层倾角为3~6°。工作面采高为3.7m,放煤高度为3.3m,采放比为1:0.89。工作面上巷、下巷均采用两巷布置,设备列车与转载机、破碎机、带式输送机布置在运输巷道内。

工作面采用ZFY18000/25/39D型支架109台,过渡支架2台,排头支架9台,端头支架1组。ZFY18000/25/39D液压支架为两柱掩护式,中心距为2050mm,支护强度为1.5MPa。选用7LS6C-LWS636型采煤机,采用国产化改造电控系统。采用SGZ1000/2×1200型前部刮板输送机和后部刮板输送机,机头、机尾平行布置,前后刮板输送机与转载机采用端卸布置。采用SZZ1350/700型桥式转载机和PCM700型破碎机。采用DSJ140/300/3×500型带式输送机,其运输距离为6000m,带速为4m/s。

81309综放工作面液压支架电液控制系统采用网络型控制器,工作面内设备通过统一协议接入SAM型综采自动化系统中,系统配置地面太空舱式集控中心。81309综放工作面智能综放控制系统由液压支架电液控制系统、综采自动化系统(含三机集控系统、视频监视系统、煤矸识别系统等)、地面太空舱式集控中心(位于地面调度室)等组成,如图1所示。

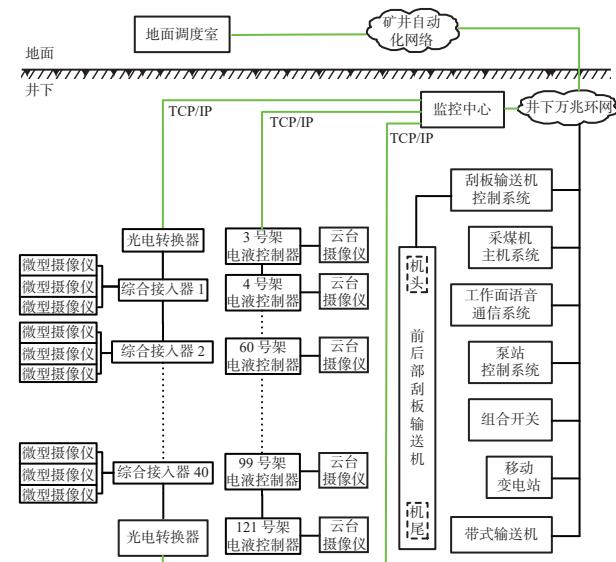


图1 智能综放控制系统基本配置

Fig. 1 Basic configuration of intelligent fully mechanized Caving control system

## 2 智能综放工作面建设关键技术

在液压支架电液控制系统及综采自动化系统配置的基础上,重点对设备升级改造、有限透明开采模型、智能放煤工艺决策、煤矸识别方法优化、多模式融合集成控制等关键技术进行研究,以促进综放工作面各项技术指标满足中高级智能化建设要求。

### 2.1 设备升级改造

保德煤矿综放工作面装备老旧、不同装备供应商不统一,多数设备自身性能及自动化、智能化程度不符合智能化开采要求,工作面设备无法实现系统集成。对现有设备按照统一标准进行升级改造并实现集成控制,是智能综放工作面建设的最优选择。

保德煤矿 81309 综放工作面采用的进口采煤机受电控系统数据不开放等因素制约,因此,需对其进行国产化智能改造,采用完全国产化的电控系统实现数据集中控制,通过加装惯导系统,配套光纤复合电缆与 5G 相结合的通信方式,实现信号有线/无线双通道传输,提高采煤机割煤控制数据传输的可靠性。

采煤机主体控制信号采用采煤机电缆内置光纤进行通信,当光纤通信发生故障时,采煤机可采用 5G 信号进行通信,通过在工作面及运输巷道内布置 5G 基站,将无线信号传输至综放工作面集控中心 5G 信号终端设备,并通过矿用万兆环网实现数据上传及采煤机的远程控制。采煤机 5G 通信系统如图 2 所示。

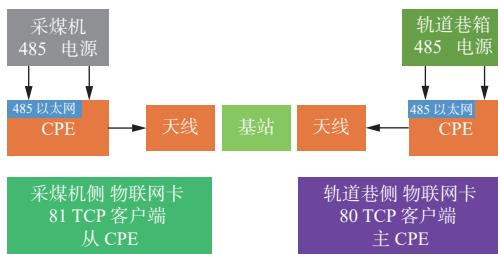


图 2 采煤机 5G 无线通信系统

Fig. 2 Shearer 5G wireless communication system

为提高设备列车拉移效率,采用迈步式自移设备列车系统并配套管缆伸缩装置(图 3)。自移设备列车系统由 1 套锚固装置、12 节滑靴式板车和 17 节轮式板车组成,加装电液控制系统实现远程操作,拉移速度约为 20 m/h。管缆伸缩装置由 1 台滑靴式绞车、19 台轮式管缆伸缩车和 1 组管缆悬移梁组成。管缆伸缩装置缆线、液管储存量为 50 m。通过实际应用,可实现设备列车常态化拉移由 1~2 人完成,效率较之前提升一倍,人员减少一半。



(a) 迈步式自移列车



(b) 管缆伸缩装置

图 3 迈步式自移设备列车及管缆伸缩装置

Fig. 3 Step-type self-shift equipment train and pipe and cable expansion device

### 2.2 有限透明开采模型

智能综放透明开采地质模型属于智能规划协同开采系统(图 4)智能规划中心的一部分。智能规划中心数据源由地质三维模型数据、历史截割数据、采高传感数据等组成,将数据源中各类数据进行统一抽象建模,并对各类模型进行融合处理,对地质模型进行迭代修正的同时生成截割模板,按照截割模板对采煤机路径、支架跟机、煤流负荷等进行规划,为开采控制中心提供生产效率最优规划方案。经过一系列换算和多源异构数据融合,最终形成有限透明开采地质模型(图 5)。

### 2.3 智能综放工艺决策

智能综放工作面的建设效果在很大程度上取决于采放工艺协同及智能化程度。充分考虑 81309 综放工作面智能化建设需求,采用千兆综合接入器(每 6 架 1 个)搭建高速链路,用于后部放煤视频(每 2 架 1 个)和后部振动煤矸识别(每架 1 个),并预留其他接口供煤矸识别研究使用,在后部视频的邻架配置照明灯(每 2 架 1 个)。

智能综放工艺总体上分为 10 个阶段,81309 综放工作面为左工作面,总体支架编号为 3 号—122 号(1 号、2 号架为端头支架)。该工作面采用一刀一放 2 轮顺序放煤方式,正常放煤阶段,当采煤机从机头往机尾割煤时,第 1 放煤点从机头 7 号架开始放煤,第 2 放煤点从滞后移架工序 10 号架向机尾方向放煤,放煤后拉后刮板输送机机头,并依次向机尾方向拉后刮板输送机,2 轮放煤放到机尾 116 号架停止;从机尾往机头割煤时,从机尾 116 号架开始放

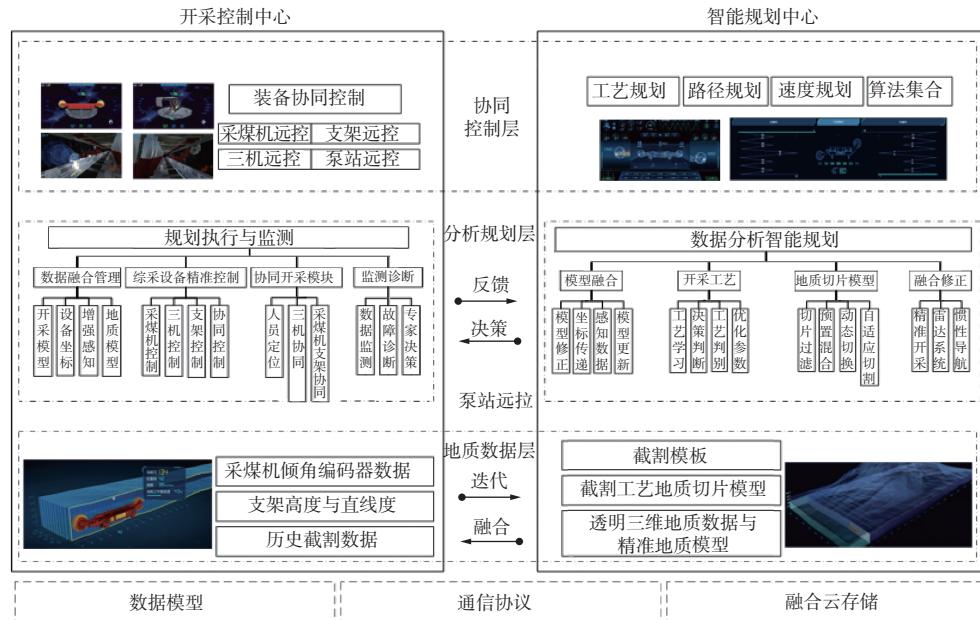


图4 基于透明地质的综采工作面智能化协同规划开采系统

Fig. 4 Intelligent collaborative planning and mining system of fully mechanized mining face based on transparent geology

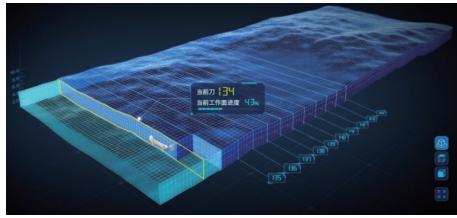


图5 有限透明开采地质模型

Fig. 5 Geological model of limited and transparent mining

煤,放到机头7号架停止;端头架、排头架不放煤。

智能综放回采工艺阶段设置见表1。

#### 2.4 煤矸识别方法优化

综放开采的放煤阶段是重要的生产环节,在综放自动化生产阶段,主要采用基于放煤动作的时间程序控制方法,在智能化放煤阶段,需综合考虑振动、视频识别等煤矸识别结果<sup>[19-20]</sup>,参与自动化放煤阶段控制,形成智能放煤控制。保德煤矿采用振动+视频识别方案进行煤矸识别。在综放支架尾梁下方安装加速度传感器采集放落煤矸的振动信号,通过计算9.5~10.5 kHz内的能量累计值,与基准能量进行对比,超出阈值部分判定为矸石比例超标,得出煤矸识别结果。加速度传感器时域能量算法三维图如图6所示。

为提高煤矸识别分析判断的准确性,除采用振动煤矸识别方法外,每2架后方安装微型摄像仪并在相邻支架安装光源进行煤矸识别。首先,进行初始化,启动摄像仪和补光灯,相机通信正常时进行图像获取与识别,否则提示故障。然后,对获取的图像

数据进行分析,判断镜头是否被污染,当镜头未被污染且液压支架放煤作业已启动时,执行矸石占比检测。当出现镜头污染报警或到达镜头污染检测周期时,执行镜头污染检测算法,若判定镜头有污染,则输出视觉失效信号;若判定镜头无污染,则输出视觉有效信号。最后,在执行煤矸占比检测时,若矸石占比超过阈值,则进行待报警帧计数,当连续待报警帧达到一定数量时,系统输出煤矸超标报警提示,若此时允许采用此数据进行自动操作,则关闭相应的放煤口,实现放煤智能化。

#### 2.5 多模式融合集成控制

智能化集中控制系统以SAM型综采自动化控制系统为枢纽,通过整合液压支架电液控制、视频监控、采煤机电控、三机泵站集控构建智能化集中控制系统,如图7所示。智能化集中控制系统分为决策层、控制层和执行层3个部分。决策层通过智能化放煤决策系统向智能化控制系统、智能化控制中心、智能开采工艺控制中心下发指令<sup>[21]</sup>,然后分别向控制层的自动化控制系统、自动化控制中心、电液控制系统等下发控制指令,控制指令向执行层各执行设备下发并执行动作,通过执行层智能感知系统向控制层和决策层反馈执行结果,形成闭环控制。

### 3 应用实施

81309综放工作面已于2021年11月20日完成自动化调试,中部实现单班自动控制割煤4刀,液压支架实现自动跟机拉架、联动收伸护帮/伸缩梁、自

表 1 智能回采工艺阶段

Table 1 Intelligent coal mining process stage

| 序号 | 阶段说明                           | 动作说明   |
|----|--------------------------------|--|
| 1  | 阶段1<br>采煤机中心12号架<br>停留0 min上行  | 1) 跟机自动移架, 从7号架开始, 移架距离为6台支架, 允许动作为3台支架;<br>2) 跟机伸缩梁-护帮联动(该动作为移架后自动动作), 距离为6台支架, 允许动作为3台支架;<br>3) 跟机收伸缩梁-护帮联动, 距离为3台支架, 允许动作为5台支架;<br>4) 跟机推溜, 从3号架开始, 推溜距离为10台支架, 允许动作为8台支架(端头3号—6号架推溜结束后进行自动顺序移架);<br>5) 跟机时放煤, 从7号架开始, 距离为19台支架, 允许动作为2台支架;<br>6) 跟机拉后溜, 从3号架开始, 距离为22台支架, 允许动作为10台支架(拉后溜必须在放煤之后完成动作)           |
| 2  | 阶段2<br>采煤机中心116号架<br>停留8 min下行 | (此时跟机移架到110号架, 跟机伸护帮至110号架, 跟机推溜至106号架, 98号架为满行程, 跟机放煤至95号架, 拉后溜到86号架)<br>1) 跟机补充自动移架, 111号—117号架补充移架, 移架后不伸护帮板;<br>2) 补充跟机收护帮至110号—105号架, 给采煤机扫煤留出空间;<br>3) 补充推出蛇形段, 动作区域为98号—106号架;<br>4) 补充跟机放煤由87号架顺序向115号架执行(放煤动作执行未完毕, 不允许执行补充拉后溜动作);<br>5) 补充跟机拉后溜, 从86号—117号架满行程拉后溜(拉后溜必须在放煤之后完成动作)                        |
| 3  | 阶段3<br>采煤机中心112号架<br>停留41 s下行  | 1) 采煤机割透机尾后, 反向下行至113号架(滚筒在108号架, 扫底煤不限次, 不扫可直接经过);<br>2) 采煤机反向下行至蛇形段最大架号, 该蛇形段区域执行中部跟机伸护帮动作, 从112号架开始, 采煤机前滚筒收伸缩梁护帮联动(时间可设置), 采煤机后滚筒执行跟机伸缩梁护帮联动动作(时间可设置)  |
| 4  | 阶段4<br>采煤机中心92号架<br>停留4 min上行  | 1) 采煤机运行到蛇形段最大架号92号时, 触发98号—121号架满行程推溜;<br>2) 采煤机反向上行割三角煤, 该蛇形段区域执行中部跟机伸护帮动作, 从92号架开始, 采煤机前滚筒收伸缩梁护帮联动(时间可设置), 采煤机后滚筒执行跟机伸缩梁护帮联动动作(时间可设置);<br>3) 满行程推溜后, 补充跟机移架从121号—118号架(移架后进行伸护帮);<br>4) 补充跟机拉后溜满行程, 从118号—121号架   |
| 5  | 阶段5<br>采煤机中心113号架<br>停留0 min下行 | 采煤机割透三角煤后, 反向下行至113号架, 扫底煤不限次数   |
| 6  | 阶段6<br>采煤机中心112号架<br>停留0 min下行 | 1) 跟机自动移架, 从117号架开始, 移架距离为6台支架, 允许动作为3台支架;<br>2) 跟机伸缩梁-护帮联动(该动作为移架后自动动作), 距离为6台支架, 允许动作为3台支架;<br>3) 跟机收伸缩梁-护帮联动, 距离为3台支架, 允许动作为5台支架;<br>4) 跟机推溜, 从121号架开始, 推溜距离为10台支架, 允许动作为8台支架(端头121号—118号架推溜结束后进行自动顺序移架);<br>5) 跟机时放煤, 从117号架开始, 距离为19台支架, 允许动作为2台支架;<br>6) 跟机拉后溜, 从121号架开始, 距离为22台支架, 允许动作为10台支架(拉后溜必须在放煤之后完成) |
| 7  | 阶段7<br>采煤机中心7号架<br>停留8 min上行   | (此时跟机移架到13号架, 跟机伸护帮至13号架, 跟机推溜至17号架, 25号架为满行程, 跟机放煤至28号架, 拉后溜到39号架)<br>1) 跟机补充自动移架, 12号—7号补充移架, 移架后不伸护帮;<br>2) 补充跟机收护帮至13号—18号架, 给采煤机扫煤留出空间;<br>3) 补充推出蛇形段, 动作区域为15号—25号架;<br>4) 补充跟机放煤, 由27号架顺序向9号架执行(放煤动作执行未完毕, 禁止补充拉后溜);<br>5) 补充跟机拉后溜, 从38号—7号架满行程拉后溜(拉后溜必须在放煤之后完成)  |
| 8  | 阶段8<br>采煤机中心12号架<br>停留41 s上行   | 1) 采煤机割透机头后, 反向上行至11号架(滚筒在7号, 扫底煤不限次, 不扫可直接经过);<br>2) 采煤机反向上行至蛇形段最大架号, 该蛇形段区域执行中部跟机伸护帮动作, 从12号开始, 采煤机前滚筒处收伸缩梁-护帮联动(时间可设置), 采煤机后滚筒处伸缩梁-护帮联动(时间可设置)  |
| 9  | 阶段9<br>采煤机中心32号架<br>停留4 min下行  | 1) 采煤机运行到蛇形段最大架号32号时, 触发25号—3号架满行程推溜;<br>2) 采煤机反向下行割三角煤, 该蛇形段区域执行中部跟机伸护帮动作, 从32号架开始, 采煤机前滚筒处收伸缩梁-护帮联动(时间可设置), 采煤机后滚筒处伸缩梁-护帮联动(时间可设置);<br>3) 满行程推溜后, 补充跟机移架从3号—6号架(顺序: 3号—6号架, 同时移架后进行伸护帮板);<br>4) 补充跟机拉后溜满行程, 从3号—6号架;<br>5) 拉后溜后, 端头组合支架1号—2号架分别执行降(前中后立柱)、拉、升(前中后立柱)动作   |
| 10 | 阶段10<br>采煤机中心11号架<br>停留0 min上行 | 采煤机割透三角煤后, 反向上行至11号架, 扫底煤不限次数  |

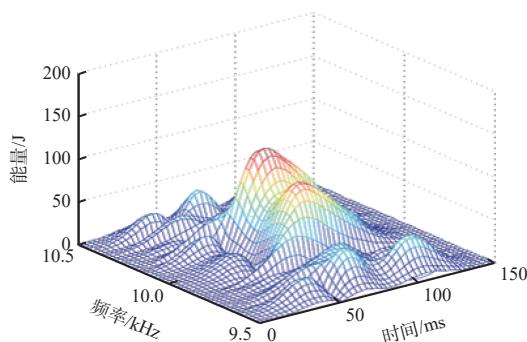


图 6 加速度传感器时域能量算法三维图

Fig. 6 Time domain energy algorithm  
3D diagram of acceleration sensor

主推溜等功能, 智能化集中控制系统可一键启停生产系统, 对设备运行数据进行实时监控。配套的地面太空舱式集控中心(图 8)为智能综放开采一体式交互平台, 可容纳 1 名支架操作工和 1 名采煤机操作工同时工作, 用于工作面设备群远程集控。

保德煤矿在 2022 年根据山西省《全省煤矿智能化建设基本要求及评分方法》进行了智能综放工作面阶段建设验收, 达到中级智能化, 将于 2023 年全面建成基于透明开采的“采-支-识-放-运”各环节自适应的智能综放工作面。

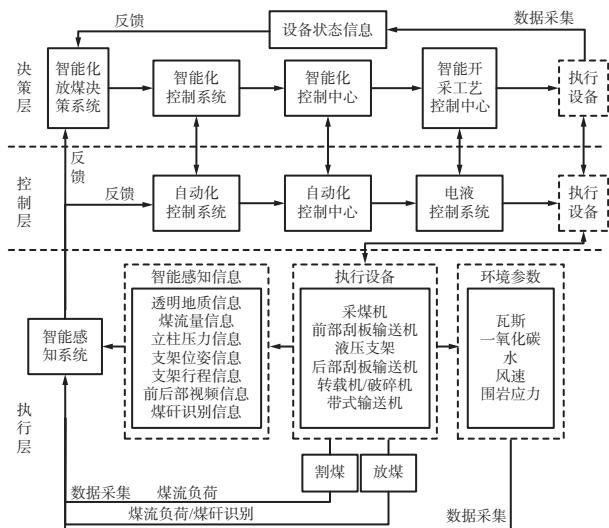


图7 智能化集中控制系统

Fig. 7 Intelligent and centralized control system



图8 智能综放地面分控中心

Fig. 8 Intelligent fully mechanized caving ground sub-control center

#### 4 结论

1) 保德煤矿在智能综放工作面建设过程中,对采煤机电控系统进行了国产化升级改造,通过加装惯导系统,配套光纤复合电缆与5G相结合的通信方式,实现信号有线/无线双通道传输,提高采煤机制割煤控制数据传输的可靠性。采用了迈步式自移设备列车系统并配套管缆伸缩装置,实现设备列车拉移常态化1~2人完成,效率提升1倍,人员减少一半。

2) 智能规划中心对各类模型进行融合处理,构建有限透明开采模型,对地质模型进行迭代修正的同时生成截割模板,按照截割模板对采煤机路径、支架跟机、煤流负荷等进行规划,为开采控制中心提供生产效率最优规划方案。

3) 10个阶段智能综放回采工艺根据保德煤矿实际支架部署确定具体动作点,实现中部跟机自动化采放、三角煤区域自动开采。

4) 采用振动和视频煤矸识别技术,在综放支架尾梁下方安装加速度传感器,采集放落煤矸的振动信号,通过滤波计算9.5~10.5 kHz内的能量累积值

进而识别煤矸界面;通过视频煤矸识别系统对矸石比例超过阈值情况进行统计报警,建成智能综放煤矸识别系统。

5) 以SAM型综采自动化控制系统为枢纽,通过整合液压支架电液控制、视频监控、采煤机电控、三机泵站集控,构建智能化集中控制系统,初步建成基于透明开采的“采-支-识-放-运”各环节智能自适应的智能综放开采工作面。

#### 参考文献(References):

- [1] 王国法, 庞义辉. 特厚煤层大采高综放适应性评价和技术原理[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 33-42.  
WANG Guofa, PANG Yihui. Full-mechanized coal mining and caving mining method evaluation and key technology for thick coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 33-42.
- [2] 王国法, 庞义辉, 马英. 特厚煤层大采高综放自动化开采技术与装备[J]. 煤炭工程, 2018, 50(1): 1-6.  
WANG Guofa, PANG Yihui, MA Ying. Automated mining technology and equipment for fully-mechanized caving mining with large mining height in extra-thick coal seam[J]. Coal Engineering, 2018, 50(1): 1-6.
- [3] 王国法. 煤矿智能化最新技术进展与问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(1): 1-27.  
WANG Guofa. New technological progress of coal mine intelligent and its problems[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(1): 1-27.
- [4] 王勇. 加快推进煤矿智能化建设 提高煤矿本质安全水平[J]. 中国煤炭工业, 2020(11): 4.  
WANG Yong. Accelerate the construction of intelligent coal mine to improve the essential safety level of coal mine[J]. China Coal Industry, 2020(11): 4.
- [5] 王国法, 王虹, 任怀伟, 等. 智慧煤矿2025情景目标和发展路径[J]. 煤炭学报, 2018, 43(2): 295-305.  
WANG Guofa, WANG Hong, REN Huaiwei, et al. 2025 scenarios and development path of intelligent coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(2): 295-305.
- [6] 王家臣. 我国放顶煤开采的工程实践与理论进展[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 43-51.  
WANG Jiachen. Engineering practice and theoretical progress of top-coal caving mining technology in China[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 43-51.
- [7] 黄曾华. 综采装备单机智能化向智能协同模式转型的探索研究[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(4): 169-175.  
HUANG Zenghua. Exploration and research on transformation from intelligent single machine equipment to intelligent synergy in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(4): 169-175.
- [8] 葛世荣. 煤矿智采工作面概念及系统架构研究[J]. 工

- 矿自动化, 2020, 46(4): 1-9.
- GE Shirong. Research on concept and system architecture of smart mining workface in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(4): 1-9.
- [9] 王国法, 徐亚军, 孟祥军, 等. 智能化采煤工作面分类、分级评价指标体系 [J]. 煤炭学报, 2020, 45(9): 3033-3044.
- WANG Guofa, XU Yajun, MENG Xiangjun, et al. Specification, classification and grading evaluation index for smart longwall mining face[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(9): 3033-3044.
- [10] 王国法, 庞义辉, 任怀伟. 煤矿智能化开采模式与技术路径 [J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2020, 2(1): 5-19.
- WANG Guofa, PANG Yihui, REN Huaiwei. Intelligent coal mining pattern and technological path[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2020, 2(1): 5-19.
- [11] 于斌, 徐刚, 黄志增, 等. 特厚煤层智能化综放开采理论与关键技术架构 [J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 42-53.
- YU Bin, XU Gang, HUANG Zhizeng, et al. Theory and its key technology framework of intelligentized fully-mechanized caving mining in extremely thick coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(1): 42-53.
- [12] 张守祥, 张学亮, 刘帅, 等. 智能化放顶煤开采的精确放煤控制技术 [J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 2008-2020.
- ZHANG Shouxiang, ZHANG Xueliang, LIU Shuai, et al. Intelligent precise control technology of fully mechanized top coal caving face[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(6): 2008-2020.
- [13] 张学亮, 刘清, 郎瑞峰, 等. 厚煤层智能放煤工艺及精准控制关键技术研究 [J]. 煤炭工程, 2020, 52(9): 1-6.
- ZHANG Xueliang, LIU Qing, LANG Ruifeng, et al. Intelligent coal drawing process and the key technologies of precise control for thick coal seam top-coal caving[J]. Coal Engineering, 2020, 52(9): 1-6.
- [14] 秦文光. 王家岭矿综放工作面智能化协同控制方案设计与实现 [J]. 煤炭科学技术, 2020, 49(增刊1): 53-58.
- QIN Wenguang. Design and complete of intelligent collaborative control scheme for fully-mechanized top coal caving face in Wangjialing Mine[J]. Coal Science and Technology, 2020, 49(S1): 53-58.
- [15] 韩秀琪, 杨秀宇, 孙峰, 等. 智能综放工作面自动运行与人工干预分析系统 [J]. 工矿自动化, 2020, 46(12): 31-37.
- HAN Xiuqi, YANG Xiuyu, SUN Feng, et al. Automatic operation and manual intervention analysis system for intelligent fully mechanized caving face[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(12): 31-37.
- [16] 王家臣, 潘卫东, 张国英, 等. 图像识别智能放煤技术原理与应用 [J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 87-101.
- WANG Jiachen, PAN Weidong, ZHANG Guoying, et al. Principles and applications of image-based recognition of withdraw coal and intelligent control of draw opening in longwall top coal caving face[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1): 87-101.
- [17] 袁源, 汪嘉文, 朱德昇, 等. 顶煤放落过程煤研声信号特征提取与分类方法 [J]. 矿业科学学报, 2021, 6(6): 711-720.
- YUAN Yuan, WANG Jiawen, ZHU Desheng, et al. Feature extraction and classification method of coal gangue acoustic signal during top coal caving[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2021, 6(6): 711-720.
- [18] 曹贯强, 尉瑞, 孟祥涛, 等. 用于煤研识别的振动传感器设计 [J]. 工矿自动化, 2021, 47(1): 118-122.
- CAO Guanqiang, YU Rui, MENG Xiangtao, et al. Design of vibration sensor for coal gangue identification[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(1): 118-122.
- [19] 张守祥, 张艳丽, 王永强, 等. 综采工作面煤研频谱特征 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(9): 971-974.
- ZHANG Shouxiang, ZHANG Yanli, WANG Yongqiang, et al. Caved coal and rock spectrum on long wall face[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(9): 971-974.
- [20] 吴婕萍, 李国辉. 煤岩界面自动识别技术发展现状及其趋势 [J]. 工矿自动化, 2015, 41(12): 44-49.
- WU Jieping, LI Guohui. Development status and tendency of automatic identification technologies of coal-rock interface[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(12): 44-49.
- [21] 魏文艳. 综采工作面放顶煤自动控制系统 [J]. 工矿自动化, 2015, 41(7): 10-13.
- WEI Wenyan. Automatic control system for top coal caving on fully mechanized mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(7): 10-13.