

首届煤矿智能化开采黄陵论坛优秀论文

# 煤矿智能化开采技术创新与发展

范京道<sup>1,2</sup>

(1. 陕西煤业化工集团有限责任公司, 陕西 西安 710065; 2. 国家安全生产监督管理总局 煤矿智能化开采技术创新中心, 陕西 黄陵 727307)

**摘要:**为了实现煤矿“机械化换人、自动化减人”, 加快提升煤矿灾害防治技术水平和安全科技保障能力, 结合陕煤集团黄陵矿业公司中厚煤层智能化无人综采技术的成功实践经验, 介绍了研发机架协同“割三角煤”工艺, 超前支架远程监控系统, 远程操作系统, 工作面视频监控等关键技术, 科学分析推广应用该套技术可能面临的主要问题及制约因素, 指导该套技术的全面推广应用; 同时, 有针对性地对今后智能化综采技术的科研攻关重点和创新发展方向进行了展望。

**关键词:**智能化综采; 自动跟机; 视频监控; 自动找直技术

**中图分类号:**TD67 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)09-0065-07

## Innovation and development of intelligent mining technology in coal mine

FAN Jingdao<sup>1,2</sup>

(1. Shaanxi Coal and Chemical Industry Group Co., Ltd., Xi'an 710065, China; 2. Innovation Center of Intelligent Mining Technology in Coal Mine, State Administration of Work Safety, Huangling 727307, China)

**Abstract:** In order to realize “mechanization to replace human and automatic reduction of human” in the coal mine and to speed up and upgrade the technology level of the mine disaster prevention and control and the safety technology guarantee capacity, in combination with the successful practice experiences of the intelligent unmanned fully mechanized mining technology in the medium thick seam of Huangling Mining Group Company Limited, the key technologies such as frame cooperating cutting triangle coal process, advanced support remote monitoring system, remote control system and video monitoring of working face were introduced. The paper scientifically analyzed the main problems and restricted factors possibly faced to the promotion and application of the technology. The paper had guidance on the full promotion and application of the technology. Meanwhile, an outlook was conducted on the key research and development program and the innovation development orientation of the late intelligent fully mechanized coal mining technology.

**Key words:** intelligent fully mechanized coal mining; video monitoring; automatic alignment technology

## 0 引 言

智能化无人综采技术是指采用配备了具有感知能力、记忆能力、学习能力和决策能力的液压支架、采煤机、刮板输送机综采装备, 以自动化控制系统为枢纽, 以可视化远程监控为手段, 实现综采工作面采煤全过程“无人跟机作业, 有人安全巡视”的安全高效开采技术。这是信息化与工业化深度融合基础上煤炭开采技术的深刻变革, 构建了煤矿创新发展、安全发展、可持续发展的全新技术体系。“十二五”

以来, 通过技术引进、消化、吸收和再创新, 我国煤矿智能化综采技术有了长足的发展, 取得了一批先进科研成果和示范工程。2014年5月, 陕煤集团黄陵矿业公司联合中国煤炭科工集团天地玛珂电液控制系统有限公司、天地科技股份有限公司、宁夏天地奔牛实业集团有限公司、西安煤矿机械有限公司、山西平阳重工机械有限责任公司、中煤张家口煤矿机械有限责任公司、西安科技大学等技术研发和装备制造单位, 共同完成了“中厚煤层国产装备智能化无人综采技术研究与应用”项目。首创地面远程操控

收稿日期: 2017-05-11; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2017.09.011

作者简介: 范京道(1965—), 男, 陕西蒲城人, 教授级高级工程师, 博士, 现任陕西煤业化工集团有限责任公司总经理助理, 国家安全生产监督管理总局煤矿智能化开采技术创新中心主任, 国务院安委会专家咨询委员会专家, 陕西省三秦学者, 陕西省重点领域顶尖人才, 西安科技大学客座教授。E-mail: fanjd@126.com

引用格式: 范京道. 煤矿智能化开采技术创新与发展[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 65-71.

FAN Jingdao. Innovation and development of intelligent mining technology in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 65-71.

采煤模式,实现了国产综采成套装备地面操控采煤常态化,促进了煤炭企业的升级转型,实现了煤炭资源的科学高效安全开采<sup>[1]</sup>。2017年3月,中国煤炭科工集团与兖矿集团合作,在转龙湾煤矿综采工作面首次应用LASC技术进行自动校直,研制了具有惯导特性的智能采煤机,行走位置和滚筒采高控制精度、截割牵引速度大幅提高。据不完全统计,截至目前我国共有300余家煤矿应用了电液控制技术,有20余家进行了智能化开采技术尝试。

### 1 智能化综采关键技术

陕煤集团黄陵矿业公司智能化无人综采技术以无人跟机作业为目标,其主要技术难点在于需要引进远程遥控技术,这是集自动化、检测、视频、通信、控制、计算机等多种技术的综合应用,具有6项关键技术。

1) 液压支架全工作面跟机自动化与远程人工干预技术。在液压支架电液控制系统实现全工作面跟机自动化的基础上,依据电液控制系统的数据与液压支架视频相结合,通过监控中心远程操作台对液压支架进行人工干预,以满足复杂环境下液压支架的自动化控制。

其中,自动跟机技术<sup>[2]</sup>是指综采工作面液压支架以采煤机位置及运行方向为根据,在电液控技术的基础上,跟随采煤机完成工作面自动移架、自动推刮板输送机、自动喷雾、三机联动等成组或单架控制功能。液压支架自动跟机示意及远程干预控制界面如图1所示。

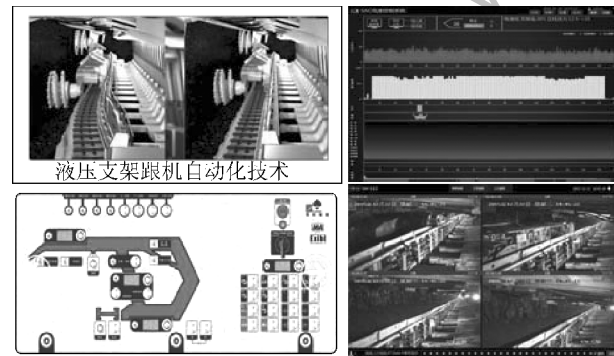


图1 液压支架自动跟机示意及远程干预控制界面  
Fig. 1 Interface of hydraulic support automatic following machine and remote intervention control

2) 采煤机全工作面记忆截割与远程人工干预技术。在采煤机实现全工作面记忆截割的基础上,依据采煤机实时数据与煤壁视频相结合,通过监控中心远程操作台对采煤机进行人工干预<sup>[3-5]</sup>,以满

足复杂环境下采煤机的自动化控制。

其中,记忆截割技术是指在满足地质条件的自动化工艺基础上,以采煤机学习示范刀运行参数为依据,以具有在线学习、修改参数功能的采煤机自动化控制系统为核心,完成综采工作面全工序自动化割煤的采煤机控制技术,采煤机记忆截割示意图及远程干预控制界面如图2所示。

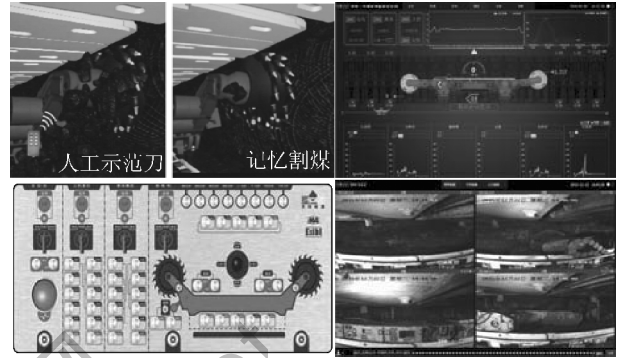


图2 采煤机记忆截割示意及远程干预控制界面  
Fig. 2 Interface of shearer cutting memory and remote intervention control

3) 工作面视频监控技术。根据工作面实际情况,设计安装视频监控系统(图3),实现在井下监控中心和地面指挥控制中心对整个综采工作面的视频监控。煤壁监控摄像机采集的视频实时上传至监控中心,提高了煤岩界面可视化程度;并由红外线传感器获得采煤机位置,通过软件处理实现摄像机跟随采煤机无缝切换。

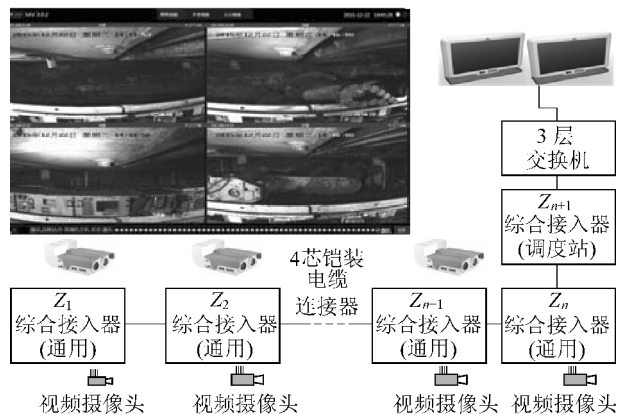


图3 工作面视频监控布置及远程视频监控界面  
Fig. 3 Layout of video surveillance and interface of remote video surveillance screen in working face

4) 综采自动化集中控制技术<sup>[6]</sup>。构建一套高效、便捷的集成控制系统(图4),实现对综采工作面主要设备单机控制系统的有机整合(包括采煤机、液压支架、运输设备、供电设备、供液设备等),并通

过合理的工艺编排,实现在井下巷道监控中心和地面指挥控制中心的集中控制和“一键启停”。

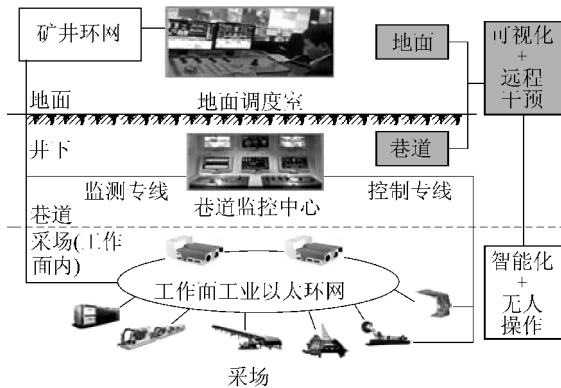


图4 综采自动化集中控制示意

Fig. 4 Sketch map of automatic centralized control for fully-mechanized mining

5) 智能化集成供液控制技术<sup>[7-10]</sup>。对远程配液站、乳化液泵站、喷雾泵站等设备控制系统进行集成,形成统一调配运行的智能化集成供液控制系统,提高供液系统自动化水平及运行效率,降低系统损耗及能源消耗。

6) 超前支护自动控制技术<sup>[11]</sup>。研制具有多个伸缩单元的交错迈步式电液控超前支架,在电液控制系统和视频监控的基础上,开发以“数据+视频+模型”为技术支撑的远程控制系统,实现对超前支架的远程监控和自动化控制。

## 2 实践中的技术创新

### 2.1 研发机架协同“割三角煤”工艺

原有三角煤截割工艺主要依靠采煤机自动记忆截割来执行割煤任务,液压支架则根据采煤机的实时位置进行三角煤区域的跟机。但在实际运行过程中,由于两者动作完成信息不能实现数据交互,容易出现支架与采煤机同步配合不到位,影响三角煤截割效果,为此,开发了“机架协同控制”割三角煤工艺(图5)。其技术核心是通过加大两者数据交互应用范围,使采煤机和液压支架在执行当前动作和转换下一动作时,都能从对方得到“其动作执行是否到位”的信号;当对方上个动作还未完成时,自身则要逐渐减速甚至停机等待对方完成动作后,才触发执行下一道工序,大幅提升了三角煤自动化截割水平。

### 2.2 开发“一键启停随动视频”安全确认界面

在“一键启停”控制系统的基础上,开发“一键启停随动视频”安全确认界面(图6),当智能控制系

统处于“一键启停”状态时,采煤机主机会自动切换为“带式输送机+刮板输送机+转载机+采煤机左右滚筒”的顺序视频监控界面,实时为远程操控人员提供现场界面,达到关键设备启动过程中安全监视的目的;同时精心对井上、井下设备启停预警语音程序进行编排、调整,实现地面指挥控制中心、顺槽监控中心和综采工作面作业人员都能及时听到设备启停预警语音,确保了远程“一键启停”过程中现场人员的安全。

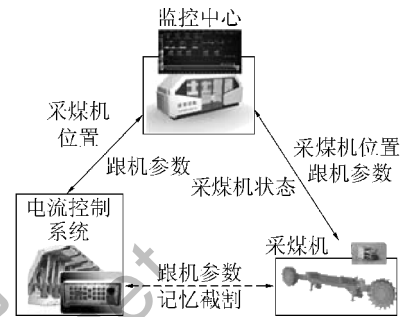


图5 机架协同控制数据交互示意

Fig. 5 Sketch map of frame cooperative control data interaction



图6 “一键启停”安全确认界面

Fig. 6 Interface of “one button start stop” security confirmation

### 2.3 开发超前支架远程监控系统

在智能化综采监控系统及超前支架电液控制系统的基础上,扩展开发了超前支架远程监控系统<sup>[12-13]</sup>,建立符合实际的仿真界面,利用“视频+模型”的监控方式,实现超前支架的选架、移架等远程自动化控制,超前支架实景图及远程控制界面如图7所示。

### 2.4 优化远程操控系统

为了有效保障远程操控的安全性和实时性,进一步提高远程干预效率,开发了“液压支架快捷操控界面”(图8)。当液压支架出现丢架、漏推等现象时,监控软件及时发出预警信号;监控员根据预警提醒选定操作对象后,系统自动切换至该支架的实时监视界面,一键完成支架自动补架或单独动作补架。



(a) 实景图 (b) 远程控制界面  
图7 超前支架实景图及远程控制界面

Fig. 7 Real map and remote control screen of advance support

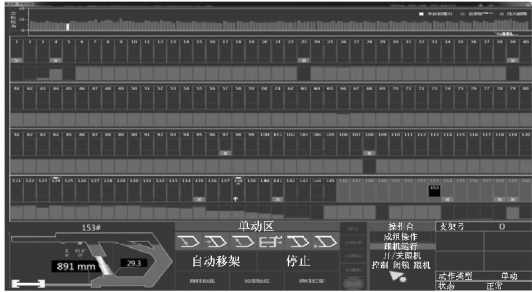


图8 液压支架快捷操控界面

Fig. 8 Quick acting interface of hydraulic support

### 2.5 开展工作面自动找直技术

综采工作面煤壁、刮板输送机和液压支架直线度情况直接影响智能化综采技术的常态化稳定运行,为此研发了一套工作面移动巡检装置,集成惯性导航、高清摄像和热成像等功能<sup>[13]</sup>,实现在空间狭窄、粉尘较大的复杂环境下,实时可靠地监测采煤机、液压支架、刮板运输机及围岩环境,并将采集到的数据上传至上位机进行分析、处理和发布,实现工作面自动找直,也为滚筒透尘可视化和高清全景视频监控等关键技术的研究奠定了基础。工作面巡检机构井下实景图及红外监视界面如图9所示。



(a) 实景图 (b) 红外监视界面

图9 工作面巡检机构井下实景图及红外监视界面

Fig. 9 Inspection institutions real map and infrared surveillance screen in working face of underground mine

### 2.6 研发应用综采智能化管理平台

开发智能管理系统(IMS-Platform),应用大数据、工业云技术,建立(IMS-Platform-SVR)数据中

心,形成综采智能化管理平台(图10),进行设备运行状况分析、故障预判,并生成全生命周期管理、安全精细化管理等档案,为智能化工作面的科学管理提供依据。管理人员和工程技术人员可以随时通过移动终端或PC端登陆平台,实时、直观了解工作面的生产状况、设备运行参数、环境监测信息等。

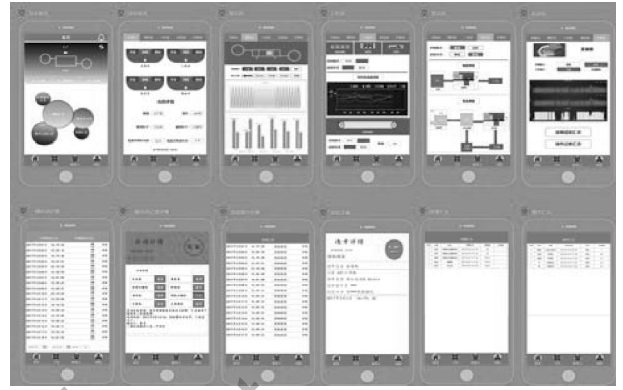


图10 综采智能化管理平台设计界面

Fig. 10 Design interface of mechanized mining intelligent management platform

### 3 推广应用中制约因素

目前,我国智能化开采技术尚处于起步阶段,在技术、工艺、管理上还存在许多未解的难题,还需要在监测技术、控制系统、物联网、装备配套等方面继续加大研发力度,不断提升智能控制的系统性、稳定性和协调性,进一步推动煤矿安全绿色智能化开采技术不断进步、升级。分析影响智能化综采技术推广应用的主要原因,可以归纳为“六个制约”。

1)煤层条件制约。应用中厚煤层智能化无人综采技术的黄陵一号煤矿地质构造相对简单,煤层相对稳定,为该技术的成功实践提供了地质保障;尽管一号煤矿地质灾害严重,但均已进行区域超前治理,在工作面开采前已经确保了回采工作面的安全可靠。对于煤层赋存条件较差的矿井,无法从本质上改变其开采条件,必将制约智能化无人综采技术的推广应用。

2)管理水平制约。智能化无人综采既要求装备技术先进,也依赖于企业管理等软实力。智能化工作面控制系统复杂、传输管线繁多、传感仪器精度高、数量多,面对新的生产组织方式、设备工艺、安全环境,如果没有较高的生产标准化和安全精细化管理水平做保障,则无法实现该项技术的常态化稳定运行。

3)技术成熟度制约。智能化无人综采部分技术已经遇到了瓶颈,制约了推广应用工作的开展。

工作面直线度检测、采煤机精准控制、煤岩分界、系统自诊断、刮板输送机煤流负荷控制等技术,都处于研究应用的初级阶段,系统稳定性和可靠性较差,需要我国科技研发人员及煤炭从业人员进一步技术攻关,不断提高新技术的适用性、稳定性和可靠性。

4) 协同配套系统制约。智能化无人综采技术能否成功实践,与信息化、灾害治理等配套技术水平密切相关。陕煤集团黄陵矿业公司在实现智能化无人综采之前,大力推进信息化和工业化深度融合,形成了网络核心万兆传输、设备间千兆传输的矿井工业以太网;同时利用自动控制技术、信息化技术建设了一体化监控平台,实现了安全生产、综合调度、企业管理等多个系统的联网整合,保障了智能化综采技术的成功应用。

5) 员工素质制约。智能化无人综采技术属于行业尖端技术,其装备必须由一支敬业精神强、安全技术素质高、掌握信息化知识的职工队伍来驾驭。在实践应用过程中,如果缺乏高端的管理人员及系统维护人员,同时普通矿工未进行系统、严格的培训,就无法及时有效完成故障排查和技术改进,必将大大影响实际应用效果。

6) 思想观念制约。部分煤矿管理人员和工程技术人员始终认为煤矿生产条件复杂,综采工作面必须有人现场操作才能适应变化、保障安全,从思想观念上不愿意接受智能化无人开采技术,制约该项

技术的推广应用。

#### 4 未来智能化开采技术研究重点与发展趋势

目前,我国正处于转型升级和结构调整的关键时期,在新兴网络技术和传统工业深度融合的新形势下,各个行业正迎来产业的巨大变革,其中以智能化技术与传统成套装备的融合实现产业转型升级正成为越来越重要的发展趋势。然而,煤炭产业由于安全、环境等因素的影响,对智能技术与装备的需求尤为迫切,因此,发展以实现无人化开采为目标的智能化开采技术与装备研发对煤炭开采产业的发展具有重要意义。

##### 4.1 厚煤层及薄煤层智能化综采技术

按照顶层设计、科学规划、分步实施的原则,开展大采高智能化综采技术研究。充分汲取中厚煤层智能化综采技术应用的经验教训,制定符合大采高综采工作面的智能化技术路线、关键技术和采煤工艺,形成“以设备智能化运行为主,现场干预为辅”的智能化生产模式。同时,针对大采高智能化综采的特点和难点,不断尝试应用新技术,逐步解决大采高智能化综采过程中的诸多难题。

1) 探索综采工作面高速可靠的无线通信技术,进一步减少井下通信线缆的使用,降低工作面繁杂线缆的维护难度。综采工作面无线通信布置如图 11 所示。

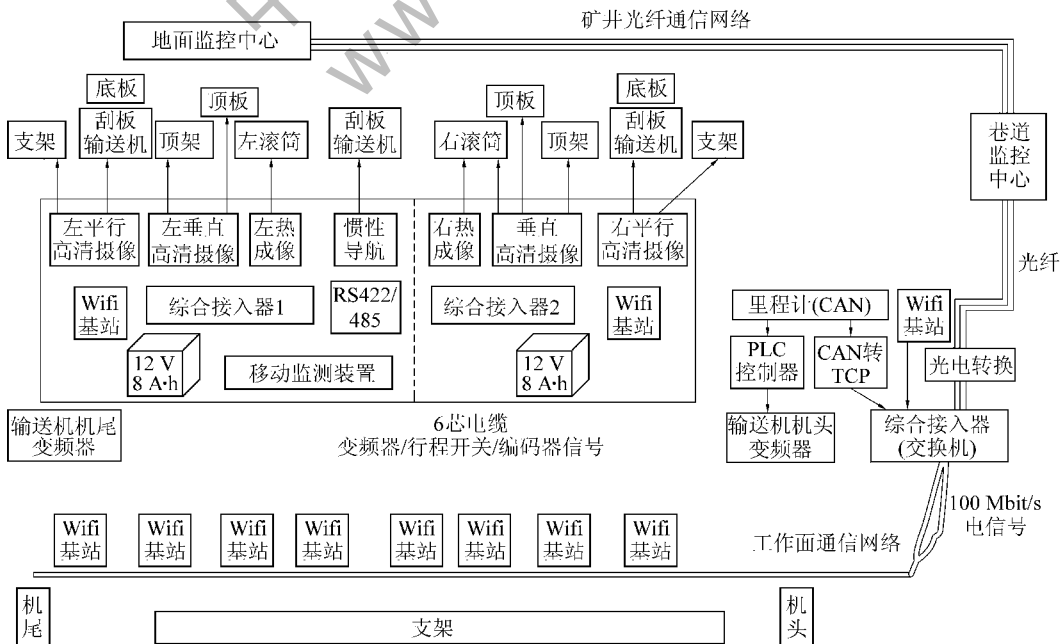


图 11 综采工作面无线通信布置

Fig. 11 Wireless communication layout of fully mechanized face

2) 探索研究人员感知技术和“单兵”作战系统<sup>[14]</sup>, 实现在监控中心与工作面巡检人员之间的实时双向通信, 并能随时对工作面现场有关信息进行采集、显示和传输, 并能上传至地面指挥控制中心, 使井下监控中心及地面调度人员随时能看到井下现场的生产界面, 进一步丰富远程干预操作手段, 保障巡检人员的安全。单兵系统主要设备如图 12 所示。

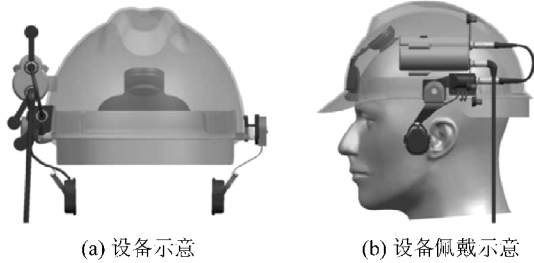


图 12 单兵系统主要设备示意

Fig. 12 Sketch of main equipment of individual soldier system

3) 建立灾害防治与智能化综采信息控制系统。瓦斯浓度关联控制如图 13 所示。将瓦斯、油型气等环境监测数据引入, 根据工作面灾害情况自动控制采煤机割煤速度直至停机, 确保大采高、复杂地质条件下的安全作业。



图 13 瓦斯浓度关联控制示意

Fig. 13 Schematic diagram of gas concentration correlation control

4) 开展地质三维模拟数据采集研究, 构建综采工作面三维地质写实, 科学描述待采面的煤层分布、厚度及变化情况, 并结合惯性导航技术进行精准开采技术研究。

5) 开展薄煤层(1.3 m 以下)智能化综采采技术研究, 进一步拓宽智能化开采的推广应用范围, 形成薄、中厚、厚煤层的完整智能化开采实践应用示范体系。

#### 4.2 切顶沿空留巷智能化综采技术

在现有开采条件的基础上, 科学规划实施无煤柱开采, 进一步探索研究切顶沿空留巷智能化开采技术, 提高采掘接续平衡度, 提高资源回收率, 实现开采技术的不断进步。

#### 4.3 复杂开采条件下的智能化综采技术

科学分析矿井地质条件和灾害对智能化开采技术应用的制约, 努力破解推广应用过程中的诸多难题, 建立矿井瓦斯治理保障系统、煤矿地质信息与水

害防治保障系统、安全生产环境尤其是各种致灾因素实时监测保障系统和管理保障信息系统, 形成不同条件下的智能化开采技术装备体系, 推动智能化综采技术的应用推广。

#### 4.4 智能化综采前沿技术研究

在现有技术的基础上, 积极开展科研攻关和技术探索, 不断提升智能化控制系统的适用性和实用性。加快综采装备的智能探测、智能导航和智能控制技术研究<sup>[15]</sup>, 不断提升设备的智能感知、自主适应和智能控制的能力, 解决智能化工作面工程质量、煤岩识别和安全感知方面的技术难题。

### 5 结 语

智能化无人综采技术在陕煤集团黄陵矿业公司的成功实践, 填补了煤炭智能化开采技术空白, 是中国煤炭工业开采史上的重大创举, 引领了煤炭行业技术发展方向, 推动了我国煤炭工业升级转型和科技进步。但该技术的成功实践离不开机械化、自动化、信息化技术的广泛应用, 需要规范化、精细化管理水平的支撑, 更要有一支素质高、执行力强的职工队伍作保障; 这些因素的叠加, 加大了该项技术的推广应用难度。同时, 目前我国智能化无人开采技术尚处于起步阶段, 从技术、工艺、管理上还存在许多未解的难题, 还需要在传感、监测、控制等方面继续加大研发力度, 不断提高综采装备的智能控制水平, 提升智能化综采技术的系统性、适用性、稳定性和协调性, 全面推动我国采煤技术的持续进步, 实现煤炭的安全、高效、绿色开采。

#### 参考文献 (References):

- [1] 李首滨, 黄曾华, 王旭鸣, 等. 综采工作面装备远程控制技术发展报告[J]. 科技资讯, 2016, 14(12): 173-174.  
LI Shoubin, HUANG Zenghua, WANG Xuming, et al. Progress report on remote control technology of equipment in fully mechanized mining face [J]. Science and Technology Information, 2016, 14(12): 173-174.
- [2] 牛剑峰. 综采工作面直线度控制系统研究[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5): 5-8.  
NIU Jianfeng. Research on straightness control system of fully mechanized mining face [J]. Industrial and Mining Automation, 2015, 41(5): 5-8.
- [3] 王金华, 黄曾华. 中国煤矿智能开采科技创新与发展[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 1-6, 21.  
WANG Jinhua, HUANG Zenghua. Innovation and development of intelligent mining technology in China's coal mines [J]. Coal Sci-

- ence and Technology, 2014, 42(9): 1-6, 21.
- [4] 田成金. 可视化远程干预型智能化采煤关键控制技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 97-102.  
TIAN Chengjin. Research on key control technology of visual remote intervention intelligent coal mining [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 97-102.
- [5] 王金华, 黄乐亭, 李首滨, 等. 综采工作面智能化技术与装备的发展[J]. 煤炭学报, 2014, 42(8): 1418-1423.  
WANG Jinhua, HUANG Leting, LI Shoubin, *et al.* Development of intelligent technology and equipment in fully mechanized mining face [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 42(8): 1418-1423.
- [6] 徐刚. 综采工作面配套技术研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1921-1924.  
XU Gang. Research on matching technology of fully mechanized coal face [J]. Journal of Coal Industry, 2010, 35(11): 1921-1924.
- [7] 王国法, 李占平, 张金虎. 互联网+大采高工作面智能化升级关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 15-21.  
WANG Guofa, LI Zhanping, ZHANG Jinhua. The upgrade of the key technology of large mining height working face Internet plus intelligence [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 15-21.
- [8] 刘方振. 国产综采装备智能化技术在黄陵一号煤矿的实践[J]. 陕西煤炭, 2015(4): 102-104.  
LIU Fangzhen. Domestic fully mechanized equipment intelligent technology in the practice of Huangling No. 1 Coal Mine [J]. Shaanxi Coal, 2015(4): 102-104.
- [9] 方新秋, 何杰, 郭敏江, 等. 煤矿无人工作面开采技术研究[J]. 科技导报, 2008(9): 56-61.  
FANG Xinqiu, He Jie, GUO Minjiang, *et al.* Mining technology of unmanned working face in coal mine [J]. Science and Technology Herald, 2008(9): 56-61.
- [10] 符大利. 煤矿综采工作面集成供液系统的应用[J]. 煤矿机电, 2016(3): 84-86.  
FU Dali. Application of integrated liquid supply system in fully mechanized coal mining face [J]. Mechanical and Electrical Engineering of Coal Mine, 2016(3): 84-86.
- [11] 王国法. 煤矿综采自动化成套技术与装备创新和发展[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(11): 1-5, 9.  
WANG Guofa. Innovation and development of complete automation technology and equipment for fully mechanized mining in coal mines [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(11): 1-5, 9.
- [12] 王成祥, 张玉良. 让井下无人采煤成为引领未来煤炭发展新坐标: 陕煤黄陵矿业公司实施智能化开采的调查与思考[J]. 陕西煤炭, 2016(5): 1-6, 14.  
WANG Chengxiang, ZHANG Yuliang. Let unmanned underground mining become leading the future new coal development: investigation and thinking of the implementation of intelligent mining in Huangling Shaanxi coal mineral company [J]. Shaanxi Coal, 2016(5): 1-6, 14.
- [13] 范京道, 王国法, 张金虎, 等. 黄陵智能化无人工作面开采系统集成设计与实践[J]. 煤炭工程, 2016(1): 84-87.  
FAN Jingdao, WANG Guofa, ZHANG Jinhua, *et al.* Design and practice of integrated system of Huangling mining intelligent unmanned working face [J]. Coal Engineering, 2016(1): 84-87.
- [14] 袁亮, 张通, 赵毅鑫, 等. 煤与共生资源精准协调开采: 以鄂尔多斯盆地煤与伴生特种稀有金属精准协调开采为例[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(3): 449-459.  
YUAN Liang, ZHANG Tong, ZHAO Yixin, *et al.* Precise and coordinated mining of coal and associated resources: a case study of precise coordinated mining of coal and associated rare metals in Ordos Basin [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2017, 46(3): 449-459.
- [15] 徐建军. 煤矿智能化综采技术现状及展望[J]. 陕西煤炭, 2017, 36(3): 44-47, 13.  
XU Jianjun. Present situation and prospect of intelligent fully mechanized mining technology in coal mine [J]. Shaanxi coal, 2017, 36(3): 44-47, 13.