



第一届煤矿智能化开采 黄陵论坛论文集

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 编
陕 西 陕 煤 黄 陵 矿 业 有 限 公 司

非 外 借

第一届煤矿智能化开采黄陵论坛 论文集

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
陕西陕煤黄陵矿业有限公司

编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

第一届煤矿智能化开采黄陵论坛论文集/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, 陕西陕煤黄陵
矿业有限公司编. --北京: 煤炭工业出版社, 2017

ISBN 978-7-5020-6071-8

I. ①第… II. ①国… ②陕… III. ①智能技术—应
用—煤矿开采—文集 IV. ①TD82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 194688 号

第一届煤矿智能化开采黄陵论坛论文集

编 者 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
陕西陕煤黄陵矿业有限公司
责任编辑 罗秀全 肖 力 郭玉娟
责任校对 邢蕾严
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)
电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京玥实印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 20¹/₂ 字数 485 千字
版 次 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷
社内编号 8951 定价 58.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换, 电话: 010-84657880

前 言

为了深入贯彻中央关于推进供给侧结构性改革，构建现代产业体系，大力推进科技创新，加快推动科技成果向现实生产力转化的重要指示，不断提高煤炭安全高效开发和清洁高效利用水平，实现煤炭安全、绿色、低碳、高效的可持续发展，中国煤炭学会与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于2017年5月7—9日在陕西省黄陵县召开了首届“煤矿智能化开采黄陵论坛”。国家安全生产监督管理总局和有关省市煤炭管理部门领导，中国工程院院士，全国34家煤炭企业、21个高等院校和科研机构、10家装备制造企业的200余名专家、学者参加论坛，围绕煤矿智能化开采技术进行研讨交流，寻找技术合作契合点。

围绕“煤矿智能化开采”的主题，本次论坛面向全国煤矿企事业单位及相关设备厂商、科研院所、高等院校、社会团体和个人征集了论文。征文方向包括：煤矿智能化开采技术发展，综采工作面智能化技术与装备，综采综掘设备智能感知和控制技术，煤炭绿色开采和岩层控制技术，智能化综采、综掘、辅助运输管理体系及经验，快速掘进智能化技术与装备，辅助运输系统智能化技术与装备，数字化矿山建设，水害、火灾、瓦斯、粉尘、顶板防治技术，应急救援，安全管理与职业健康等。

为方便大家学习、消化和吸收院士、学者及行业专家的科研成果，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决定将本次论坛的主题报告和征集的部分优秀论文集结出版。论文集主要收录了《煤矿智能化开采技术创新与发展》《煤炭智能化开采关键技术创新与前景展望》《基于惯性导航的工作面直线度检测与控制技术研究与应用》等技术探索和展望类论文，以及《中厚及较薄煤层自动化、智能化综采技术研究与实践》《阳泉矿区高瓦斯复杂地质条件下煤矿智能化开采技术研究与应用》《黄陵矿业智能化无人开采技术探索与发展》等技术研究应用与经验交流类论文。论文集展现了我国煤矿智能化开采的部分理论研究成果及工程实践情况，剖析了制约煤矿智能化技

术和装备创新发展的关键难题，展望了未来的科研攻关和发展方向。

本论文集共收录论文 45 篇，约 50 万字。由于论文数量多，编辑工作量大、时间紧，且编者水平有限，如有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

二〇一七年六月

目次

煤矿智能化开采技术创新与发展	范京道 (1)
煤炭智能化开采关键技术创新与前景展望	王国法 徐亚军 任怀伟 (11)
基于惯性导航的工作面直线度检测与控制技术研究与应用	李首滨 李 森 (21)
智能化开采无尘矿井建设及关键技术	赵国瑞 (31)
2250 kV·A/6 kV 矿用防爆变频器的设计与 开发	沈传文 邱 东 唐千龙 王孔照 (39)
中厚及较薄煤层自动化、智能化综采技术研究与实践	孟祥军 (47)
阳泉矿区高瓦斯复杂地质条件下煤矿智能化开采技术研究与推广应用	崔建军 (51)
煤矿大采高智能化开采探讨	徐建军 (56)
论煤矿安全免疫系统构建	吴 刚 钱 敏 (65)
梅花井煤矿直罗组砂岩含水层开采扰动后的渗透性分析及充水 试验研究	翟 文 马 昆 任予鑫 (73)
黄陵矿业公司智能化无人开采技术探索与发展	张玉良 (81)
综掘工作面智能化开采技术研究	张科学 (89)
复杂厚煤层采掘工作面油型气防治技术应用	马功社 孙玉宁 (98)
锚网索梁联合支护技术探讨	王怀平 (109)
黄陵一号煤矿综合防尘技术探索与应用	陈泽雄 (113)
煤油气共生矿井采煤工作面底板卸压变形规律研究及应用	李 川 (117)
综采工作面智能化超前支架控制研究与应用	马 骋 (125)
黄陵矿业公司一号煤矿瓦斯治理信息化建设	李龙国 (130)
超前支架在黄陵矿业公司一号煤矿智能化综采工作面的应用	王 飞 (137)
智能耦合型大采高液压支架设计及关键技术	赵红梅 马占江 黄勇杰 (142)
特厚煤层综放开采煤矸流场中的动态随机拱特征及其 控制途径	刘长友 张宁波 杨智文 (150)
考虑顶板力学特性的巷道煤柱塑性区宽度 确定	侯公羽 谢冰冰 崔永科 周蒙辉 (158)
主煤流运输系统自动化改造研究与设计	张 健 苗向民 (167)
综采工作面多源异构数据融合的远程预警诊断系统的应用	袁志金 (172)
煤巷施工工艺与综掘结构优化方案	惠兴田 苏小卫 刘甲翔 (180)
智慧矿山建设中生产综合监控系统及智能联动控制的分析与研究	刘振兴 (188)
两化融合下的高产高效综采工作面实现与应用	张海坡 (196)
开滦煤矿井下智慧安全防控信息系统的研究与应用	王丛坤 (202)
一种基于无线局域网的矿井机车无人驾驶系统研究	吕艳龙 (207)

基于模块化的刮板输送机智能控制系统解决方案 马柯峰 焦 瑞 刘建伟 (213)

基于状态感知的刮板输送设备运行可靠性保障技术研究 吴爱民 焦 瑞 (220)

基于采煤机和变频器多参数的刮板输送机调速策略研究 马柯峰 渠婷婷 (226)

基于刮板输送机煤量的井工成套设备控制技术研究 吴爱民 刘建伟 (231)

高速架空乘人装置研究与应用 陈 涛 (237)

物联网在主胶带运输系统中的应用 王 勇 张化乾 朱 浩 (242)

基于蜂蚁群算法的瓦斯涌出量预测模型 付立东 聂靖靖 (248)

超高水材料充填系统设备配套研究与应用 马慎义 (256)

无人值守矿井主要通风机技术研究与应用 彭 强 (260)

煤矿综采综掘设备智能感知与控制技术的探索及
展望 符如康 张长友 张 豪 程 成 位兆瑞 (265)

矿井火灾处治及 FeS 自燃致因分析研究 王 滨 (273)

智慧煤矿井下电气传动关键技术与装备的发展趋势与
进展 梁得亮 沈传文 贾立新 马树成 (281)

基于小波神经网络的带式输送机托辊故障检测研究 曹贯强 (288)

智能自动化开采远控系统研究 姚钰鹏 刘 清 (295)

综采工作面乳化液泵站智能化维护系统设计 李 昊 张 晞 (306)

综采工作面智能高效大流量集成供液系统的研制与
应用 冯 旭 王剑强 付仙良 王大龙 (315)

煤矿智能化开采技术创新与发展

范京道^{1,2}

(1. 黄陵矿业集团有限责任公司, 陕西黄陵 727307;

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: 立足于黄陵矿业公司中厚煤层智能化无人综采技术的成功实践, 全面总结了智能化无人综采技术成功应用的关键技术, 科学分析了推广应用该技术可能面临的主要问题及制约因素。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; 关键技术; 制约因素; 创新发展

0 引言

智能化无人综采技术是指采用具有感知能力、记忆能力、学习能力和决策能力的液压支架、采煤机、刮板输送机等综采装备, 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。这是在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, 引领了世界煤炭技术发展的时代潮流, 必将带来煤矿生产方式、组织方式、管理方式的深刻变革。

“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, 陕煤化黄陵矿业公司联合中国煤炭科工集团的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, 以及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, 团结协作, 共同攻关, 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。该研究项目整体技术达到了国际领先水平, 首创地面远程操控采煤模式, 实现了国产综采成套装备地面操控采煤常态化, 圆了煤炭人长久以来地面采煤的梦想, 推动我国智能化无人开采技术达到国际领先水平, 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。2017年3月, 中煤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

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，是自动化、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。

1.1 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，将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。液压支架自动跟机及远程干预控制画面如图1所示。

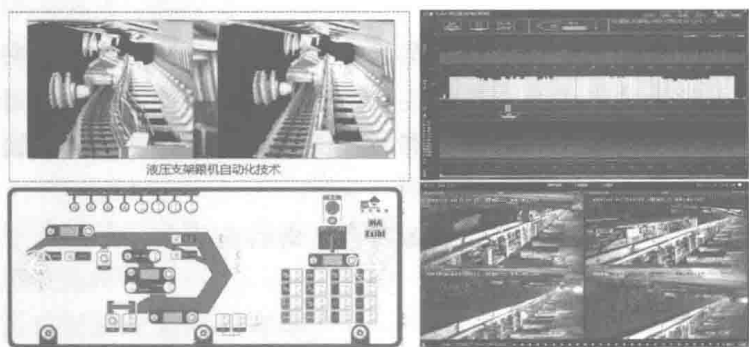


图1 液压支架自动跟机及远程干预控制画面

其中，自动跟机技术是指综采工作面液压支架以采煤机位置及运行方向为依据，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。

1.2 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，将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，以满足复杂环境下采煤机的自动化控制。采煤机记忆截割及远程干预控制画面如图2所示。

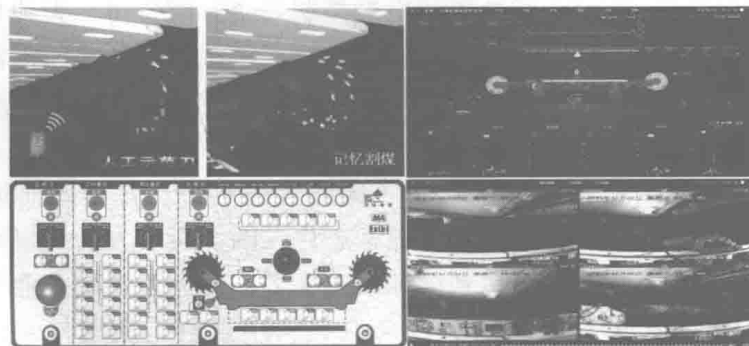


图2 采煤机记忆截割及远程干预控制画面

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。

1.3 工作面视频监控技术

根据工作面实际情况，设计并安装视频监控系统，实现在井下监控中心和地面指挥控制中心对整个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的无缝切换。工作面视频监控布置及远程视频监控画面如图 3 所示。

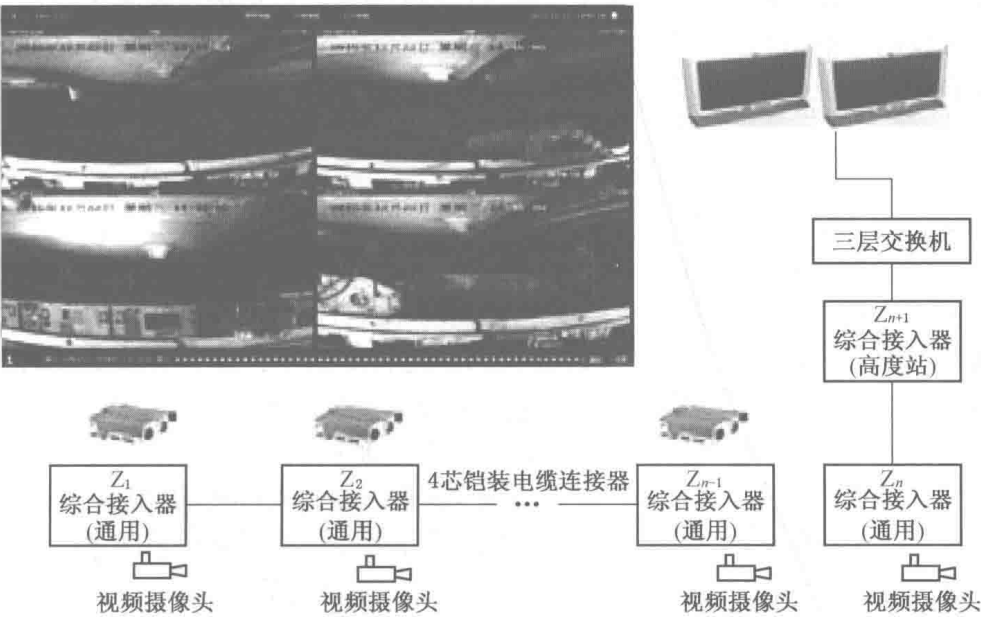


图 3 工作面视频监控布置及远程视频监控画面

1.4 综采自动化集中控制技术

构建一套高效、便捷的集成控制系统，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，实现在井下顺槽监控中心和地面指挥控制中心的集中控制和“一键启停”。综采自动化集中控制如图 4 所示。

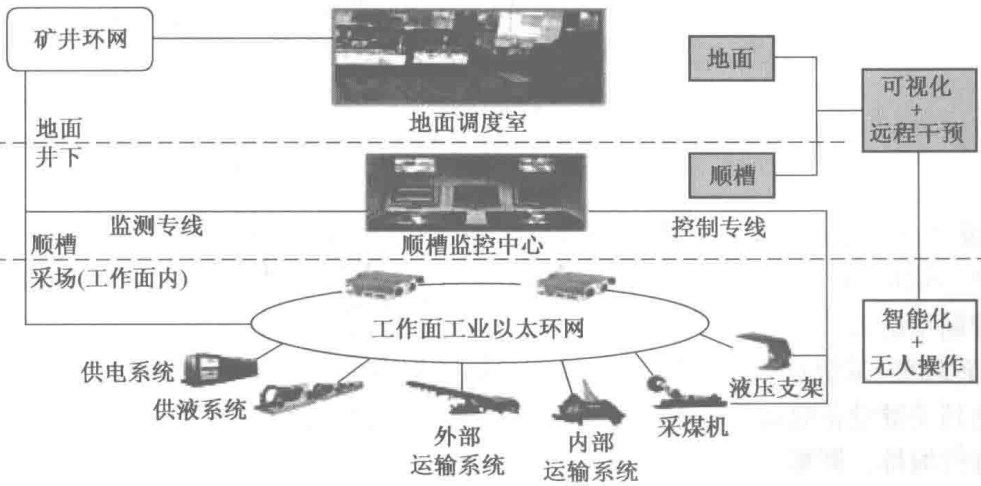


图 4 综采自动化集中控制示意图

1.5 智能化集成供液控制技术

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

1.6 超前支护自动控制技术

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。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；当对方上一个动作还未完成时，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，大大提升了三角煤自动化截割水平。机架协同控制数据交互如图 5 所示。

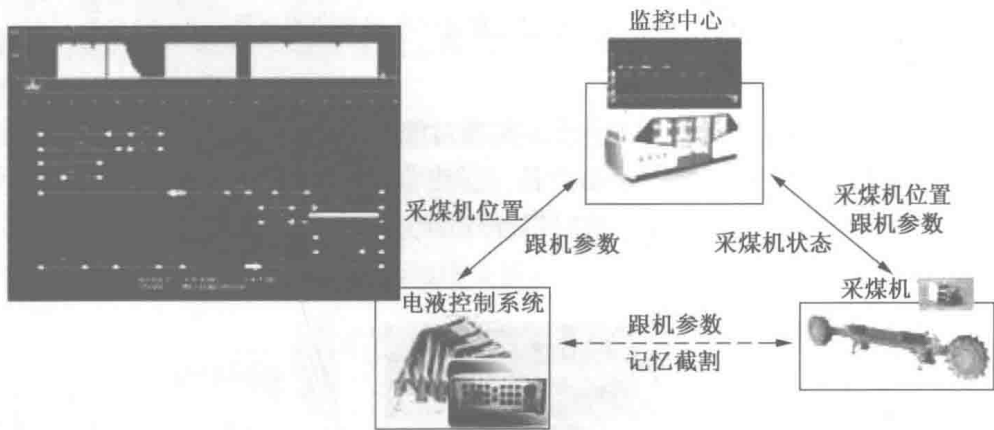


图 5 机架协同控制数据交互示意图

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，开发了“一键启停随动视频”安全确认界面。当智能控制系统处于“一键启停”状态时，采煤机主机机会自动切换为“带式输送机+刮板输送机+转载机+采煤机左右滚筒”的顺序视频监控画面，实时为远程操控人员提供现场画面，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。“一键启停”安全确认画面如图 6 所示。



图6 “一键启停”安全确认画面

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，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。超前支架及远程控制画面如图7所示。

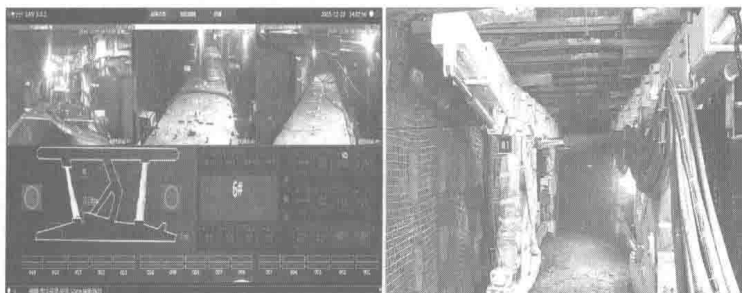


图7 超前支架及远程控制画面

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”。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画面，一键完成支架自动补架或单独动作补架。液压支架快捷操控界面如图8所示。

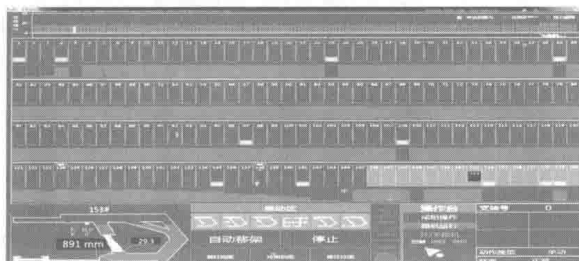


图8 液压支架快捷操控界面

2.5 开展工作面自动找直技术研究

综采工作面煤壁、刮板输送机和液压支架直线度直接影响智能化综采设备的常态化稳定运行，为此研发了一套工作面移动巡检装置。该装置集成惯性导航、高清摄像和热成像等功能，在空间狭窄、粉尘较大的复杂环境下，可实时可靠地监测采煤机、液压支架、刮板输送机及围岩环境，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。目前该技术正在黄陵一号煤矿进行工业性试验。工作面巡检装置及红外监视画面如图 9 所示。

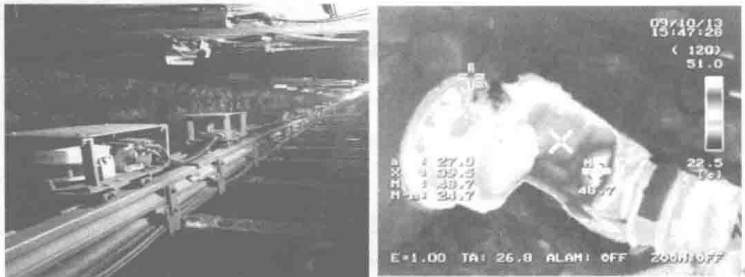


图 9 工作面巡检装置及红外监视画面

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，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 端登录平台，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。综采智能化管理平台设计界面如图 10 所示。

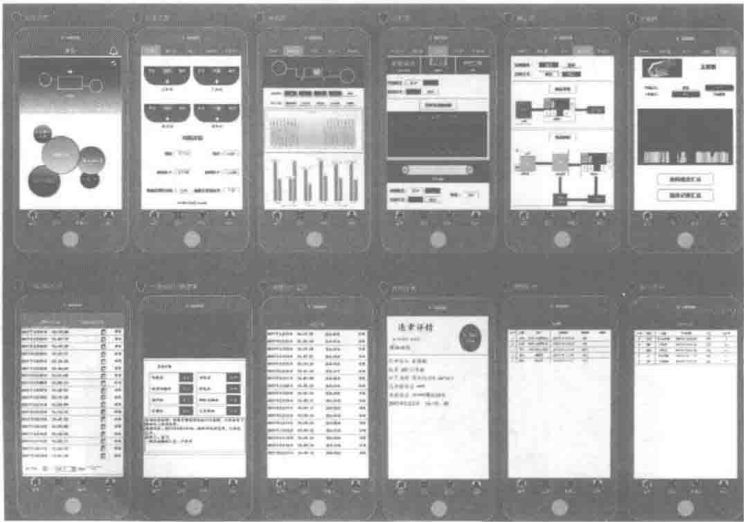


图 10 综采智能化管理平台设计界面

3 智能化创新实践体会

3.1 提升了生产效率

智能化无人综采的生产过程主要以设备自主感知和智能控制为主,减少了人工作业和多工种之间的交叉作业,降低了职工劳动强度,提高了生产效率,单班作业人员由以往的19人减至7人,每年节约人工成本达800万元以上。“1.4~2.2 m”煤层智能化综采成套装备单班生产能力最大达8刀半,工作面月产量稳定在 1.7×10^5 t,回采工效达133 t/工;“1.5~2.8 m”煤层智能化综采成套装备单班生产能力稳定在6刀半,月产量稳定在 2.3×10^5 t,回采工效达149 t/工。生产效率提升平均达到15%以上。

3.2 提升了综合管理水平

智能化无人综采技术的应用,推动煤矿由劳动密集型向技术密集型转变,倒逼企业管理水平和员工素质不断提升,以适应技术装备发展的需要。黄陵矿业公司以“三无”(安全零死亡、瓦斯零超限、生产零伤害)为目标,坚持“四线”(强化红线意识、坚守底线思维、加强一线管控、确保防线牢固)安全管理,推行“五精”(精细、精准、精确、精益、精美)管理,为智能化无人开采奠定了管理基础。同时,通过智能化开采技术的应用实践,形成了一整套精细化的管理流程,能够合理调动所有生产要素,实现人、机、物、管、环的快速融合、协同高效。

3.3 提升了员工素质

黄陵矿业公司针对新的设备和工艺,以“双述”(岗位描述、手指口述)活动和“三功两素”(知识功底、专业功力、技能功夫、身心素质、职业素养)训练为抓手,创造性开展职工素质提升工程,涌现出了一批技术骨干和革新能手。

3.4 提升了相关技术水平

智能化无人综采技术的应用,带动了与之配套的矿井综合信息技术、自动化技术、智能感知技术的进步,有效推动了黄陵矿业公司智慧矿山建设步伐。先后完成信息化系统升级和主系统自动化技术改造,实现了在地面指挥控制中心对井下主带式输送机、主供电设备、主排水泵和主要通风机的远程控制,以及视频的监控和数据的监测、分析,以及矿井机电主系统的无人值守。

3.5 提升了安全生产保障能力

在地面或顺槽进行远程操控作业,将矿工从艰苦危险的环境中解放出来,从高强度体力劳动中解放出来,保护了从业人员安全健康,体现“以人为本、安全发展”。工作面无人跟机作业,现场1人巡检,实现了“少人则安、无人则安”。同时,随着装备技术和监测监控系统的升级、管理水平和员工素质的提升,矿井安全可靠性能进一步增强。

3.6 提升了国产装备制造水平

智能化技术的持续进步和智能控制系统的不断完善,推动智能装备制造技术进步。通过与煤机装备制造企业研讨,完成了相关装备技术升级。譬如,采煤机采用高端材质加工,提高了整机机械性能;采高监测通过使用轴编码器和位移型油缸“双保险”,提高了记忆截割的精度和稳定性。刮板输送机配置了智能控制系统,实现了智能启动、煤量检测、智能调速、链条自动张紧控制、远程监控和功率协调等功能。

同时,黄陵矿业公司智能化综采成套装备国产化率达100%,国产技术和设备完全能

够替代进口技术和设备，设备适应性强、故障率低、技术先进，成本比国外同类型设备降低一半以上。该项技术的成功应用，提高了煤炭工业科技装备水平，对我国煤机装备制造业打造国产民族品牌有着重要的现实意义。

3.7 提升了矿工和煤矿社会地位

智能化无人综采技术的应用使煤矿工人由过去的在“脏、苦、险、累”的工作环境中工作，变成现在的穿西服打领带坐在地面采煤，矿工快乐工作、幸福生活，增强了煤矿工人的自豪感。2016年，黄陵矿业集团有限责任公司荣获我国工业领域最高奖项——第四届中国工业大奖，提高了煤炭企业的社会美誉度和煤矿工人的荣誉感。

4 推广应用中存在的主要问题

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，提升智能化开采技术的系统性、稳定性和协调性，以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因素，可以归纳为“六个制约”。

4.1 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，但通过区域超前治理等手段，在工作面开采前已经确保了回采的安全可靠。对于煤层赋存条件较差的矿井，由于无法从本质上改变其开采条件，因此会制约智能化无人综采技术的推广应用。

4.2 管理水平制约

智能化无人综采既要求技术装备先进，又依赖于企业管理等软实力。智能化综采工作面控制系统复杂、传输管线繁多、传感仪器数量多，在新的生产组织方式、设备工艺、安全环境中，如果没有较高的质量标准化和安全精细化管理水平作保障，则无法实现该项技术的常态化稳定运行。

4.3 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，制约了其应用推广。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，都需要科技研发人员及煤炭从业人员进行技术攻关、取得新的突破。

4.4 协同配套系统制约

智能化无人综采技术的成功实践，与信息化、灾害治理等配套技术水平密切相关。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；利用自动化技术、控制技术、信息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，这为智能化综采技术的研究和应用奠定了基础。

4.5 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，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，影响实际应用效果。

4.6 思想观念制约

部分煤矿管理人員和工程技術人員始終認為煤礦生產條件複雜，綜採工作面必須有人現場操作才能適應變化、保障安全，從思想觀念上不願意接受智能化無人開採技術，制約了該項技術的推廣應用。

5 未來智能化開採技術研究重點與發展趨勢

5.1 厚煤层及薄煤层智能化综采技术研究

按照顶层設計、科學規劃、分步實施的原則，開展大採高智能化綜採技術研究，充分汲取中厚煤层智能化綜採技術應用的經驗教訓，確定符合大採高綜採工作面的智能化技術路線、關鍵技術和採煤工藝，形成“以設備智能化運行為主，現場干預為輔”的智能化生產模式。同時，針對大採高智能化綜採的特點和難點，不斷嘗試應用新技術，逐步解決大採高智能化綜採過程中的諸多難題。一是探索綜採工作面無線通信技術。減少井下通信纜的使用，為智能化系統“瘦身”。二是引入人員感知技術和“單兵”系統。巡檢人員利用移動終端，可以實時通信，即時查看工作面視頻、數據及環境參數等信息，豐富遠程干預操作手段，保障巡檢人員的安全。三是建立災害防治與智能化綜採信息控制系統。將瓦斯、油型氣等環境監測數據引入，根據工作面災害情況自動控制採煤機割煤速度直至停機，確保大採高、複雜地質條件下的安全作業。四是開展地質三維模擬數據研究。構建綜採工作面三維地質模型，科學描述待採面的煤层分布、厚度及變化情況，與慣性導航技術結合，為開展智能化精準開採技術研究奠定基礎。與此同時，還需研究薄煤层（1.3 m 以下）智能化綜採技術，進一步拓寬智能化開採的推廣應用範圍，形成薄、中厚、厚煤层的完整智能化開採實踐應用示范體系。

5.2 探索 110 工法与智能化综采技术结合

在現有開採條件的基礎上，科學規劃實施無煤柱開採，進一步探索研究 110 工法切頂沿空留巷智能化開採技術，提高採掘接續平衡度，提高資源回收率，實現開採技術的不斷進步。

5.3 复杂开采条件下的智能化综采技术研究

科學分析礦井地質條件和災害對智能化開採技術應用的制約，努力破解推廣應用過程中的諸多難題，建立礦井瓦斯治理保障系統、煤礦地質信息與水害防治保障系統、安全生產環境尤其是各種致災因素實時監測保障系統和管理保障信息系統，形成不同條件下的智能化開採技術裝備體系，推動智能化綜採技術的推廣應用。

5.4 智能化综采前沿技术研究

在現有技術的基礎上，積極開展科研攻關和技術探索，不斷提升智能化控制系統的適用性和實用性。加快綜採裝備的智能探測、智能導航和智能控制技術研究，不斷提升設備的智能感知、自主適應和智能控制的能力，解決智能化工作面工程質量、煤岩識別和安全感知方面的技術難題。

6 結語

智能化無人綜採技術在黃陵礦業公司的成功實踐，填補了煤炭智能化開採技術空白，是中國煤炭開採史上的重大創舉，引領了煤炭行業技術發展方向，推動了我國煤炭工業升

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,在技术、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化控制水平,提升智能化综采技术的系统性、适用性、稳定性和协调性。只有采煤技术的持续进步,才能实现煤炭的安全、高效、绿色开采。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 王虹.综采工作面智能化关键技术研究现状与发展方向[J].煤炭科学技术,2014(1):60-64.
- [3] 冯涛,范京道,马柯.煤炭企业岗位价值精细管理研究与实践[J].西安科技大学学报,2013(33):599-603.
- [4] 王国法.综采自动化智能化无人化成套技术与装备发展方向[J].煤炭科学技术,2014(9):30-34.
- [5] 徐建军.薄-中厚煤层综采面自动化开采技术研究与实践[J].煤炭科学技术,2014(42):35-39.
- [6] 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.
- [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(7):15-21.
- [8] 王金华,黄乐亭,李首滨,黄曾华.综采工作面智能化技术与装备的发展[J].煤炭学报,2014(39):1418-1423.

第一作者简介:范京道(1965—),男,陕西蒲城人,工学博士,教授级高级工程师,1988年毕业于西安矿业学院采矿工程专业,现任陕煤化黄陵矿业集团公司党委书记、董事长,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。