

“综采工作面智能化”专题

【编者按】随着我国煤矿智能化建设的不断加快,煤矿智能化开采正逐步走向普及化、规范化和标准化。目前全国已经建成200余个智能化综采工作面,根据国家规划,到2025年全部大型煤矿基本实现智能化。我国煤矿综采工作面智能化技术发展分为3个阶段:第1阶段为单机自动化控制阶段,典型标志为可视化远程干预控制;第2阶段为全局自动化阶段,典型标志为工作面直线度检测与控制;第3阶段为时空可控的数字透明化开采阶段,典型标志为可建立三维地质模型,在三维坐标下进行精确定位与控制。为推动综采工作面智能化新理论、新技术、新装备的发展,促进学术交流与传播,《工矿自动化》组织策划了“综采工作面智能化”专题,报道了基于透明工作面的智能化开采、综采工作面设备协同控制、液压支架智能控制、综采工作面无线通信等方面的研究成果。在此衷心感谢各位专家学者为本专题撰稿!

文章编号:1671-251X(2020)05-0039-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17509

基于透明工作面的智能化开采概念、 实现路径及关键技术

王峰^{1,2}

(1.北京天地玛珂电液控制系统有限公司,北京 100013;

2.煤炭科学研究总院 智能开采控制技术研究分院,北京 100013)



扫码移动阅读

摘要:提出了以煤层透明化、综采装备透明化、决策及控制透明化为核心的基于透明工作面的智能化开采概念,即在综采工作面煤层地质增强感知的基础上实现工作面开采过程的全面感知、信息集成与分析、智能生产决策、综采装备自适应控制;从感知、分析、决策、执行4个层次指出了基于透明工作面的智能化开采实现路径,即煤层超前探测、“机-环”模型关联、采前规划决策及随采智能控制;阐述了基于透明工作面的智能化开采依托的三大关键技术,即地质勘探技术、综采装备定位技术及三维激光扫描技术。基于透明工作面的智能化开采以达到综采装备智能决策和自主执行为目标,可为最终实现无人化开采奠定坚实基础。

关键词:透明工作面;智能化开采;无人化开采;地质勘探;综采装备定位;三维激光扫描

中图分类号:TD67

文献标志码:A

Concept, realization path and key technologies of intelligent
mining based on transparent longwall face

WANG Feng^{1,2}

(1.Beijing Tiandi-Marco Electro-Hydraulic Control System Company Ltd., Beijing 100013, China;

2.Intelligent Mining Control Technology Research Branch, China Coal Research Institute,
Beijing 100013, China)

Abstract: Taking transparent coal seam, transparent fully-mechanized mining equipment and transparent decision-making and control as core, concept of intelligent mining based on transparent

收稿日期:2019-08-30;修回日期:2020-05-11;责任编辑:盛男。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804304)。

作者简介:王峰(1984—),男,山西大同人,助理研究员,硕士,主要从事煤矿综采工作面自动化开采技术方面的研究工作,E-mail:wangfeng@tdmarco.com。

引用格式:王峰.基于透明工作面的智能化开采概念、实现路径及关键技术[J].工矿自动化,2020,46(5):39-42.

WANG Feng. Concept, realization path and key technologies of intelligent mining based on transparent longwall face[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(5): 39-42.

longwall face was put forward, namely based on enhanced geological perception of coal seam in fully-mechanized mining face, comprehensive perception, information integration and analysis, intelligent production decision-making and adaptive control of fully-mechanized mining equipment are realized in mining process. Realization path of intelligent mining based on transparent longwall face was pointed out from four levels of perception, analysis, decision-making and execution, that is, advanced detection of coal seam, equipment-environment model correlation, pre-mining planning and decision-making and intelligent control while mining. Three key technologies of intelligent mining based on transparent longwall face were described, which were geological exploration technology, fully-mechanized mining equipment positioning technology and 3D laser scanning technology. Intelligent mining based on transparent longwall face aims to achieve intelligent decision-making and autonomous implementation of fully-mechanized mining equipment, which can lay a solid foundation for realization of unmanned mining.

Key words: transparent longwall face; intelligent mining; unmanned mining; geological exploration; positioning of fully-mechanized mining equipment; 3D laser scanning

0 引言

我国煤炭智能化开采经历了基于远程可视化的智能化开采 1.0 阶段,以及基于设备自适应的智能化开采 2.0 阶段^[1-4],实现了综采工作面“无人操作、有人巡视”的工作模式。但从严格意义上来说,综采工作面智能化开采还停留在远程控制 and 综采装备自动化控制生产方式。由于煤层信息不够全面、准确,煤岩识别难题尚未破解等原因,目前大部分综采工作面还不能实现适应煤层条件的智能化开采^[5]。

随着综采工作面智能化开采向深水区攻关,行业提出了基于透明工作面的智能化开采设想^[6-8],以增强煤层赋存感知、实现综采装备与开采空间融合关联、构建实时数据支撑的动态透明工作面为研究方向,达到综采装备的智能决策和自主执行。但目前对基于透明工作面的智能化开采概念尚未形成统一认识,对基于透明工作面的智能化开采实现路径和关键技术亦不十分明确。笔者在调研文献和综合分析的基础上,对基于透明工作面的智能化开采的概念、实现路径及关键技术进行探讨。

1 基于透明工作面的智能化开采概念

透明工作面的提法源于“透明地球”概念,是地球物理探测理论及技术在煤炭资源开采领域的具体应用体现。建立透明工作面是以采矿工程、物联网、信息技术、大数据、人工智能为理论基础,利用地质勘探、地理信息系统、传感网络、三维虚拟仿真等技术手段,将真实的综采工作面作为“透明化”原型对象,形成一个基于绝对三维坐标参考系的多尺度、数字化的工作面煤层地质模型的过程。基于透明工作面的智能化开采是在综采工作面煤层地质增强感知的基础上实现工作面开采过程的全面感知、信息集

成与分析、智能生产决策、综采装备自适应控制。

(1) 煤层透明化。借助先进的地质勘探技术^[9],以大数据和信息技术实现煤层内部结构的可视化、数据化,达到煤层结构信息全面、煤岩关系信息准确、地理参数信息精确、地质演化信息正确的目标,从而解决由于地质体和地质结构的复杂性、不可预见性导致煤层开采的不确定性问题。

(2) 综采装备透明化。通过对综采装备的位置、姿态信息及随工作面连续推进过程运动状态的感知与测量,建立综采装备集群之间、综采装备与实际开采煤层之间的信息交叉、数据交互机制,实现“机-环”在三维空间场的有效关联^[10],提升综采装备对开采条件的全面适应性。

(3) 决策及控制透明化。通过构建包含采煤机、刮板输送机、工作面液压支架、巷道支护装备等综采装备的关联模型,分析不同开采工况及地质条件下综采装备与煤层赋存、开采扰动之间相互关系,建立综采装备控制策略集,根据实际开采条件对下一采煤作业循环过程中综采装备与待开采煤层间相互作用进行预演,实现智能化开采系统自主决策、生产人员辅助调整的交互作业模式。

2 基于透明工作面的智能化开采实现路径

根据基于透明工作面的智能化开采概念,从感知、分析、决策、执行 4 个层次提出了基于透明工作面的智能化开采实现路径,即煤层超前探测、“机-环”模型关联、提前规划决策及随采智能控制。

(1) 煤层超前探测。依托矿井地质勘探钻孔、工作面切眼、回撤通道及巷道等实测地理信息,构建综采工作面初始地质模型。在初始地质模型的粗放数据基础上,利用精细化地质勘探技术实现对煤层赋存信息、煤层与顶底板岩层分界信息的精准识别,

在煤层开采前建立精细化三维地质模型。

(2) “机-环”模型关联。在构建的工作面精细化三维地质模型基础上,通过绝对定位技术将综采装备与煤层三维空间场关联^[11-14],将综采装备位置、姿态信息转变为三维坐标信息的同时将其标定在三维地质模型的坐标系中,实现“机-环”模型关联,并在考虑一定边界约束条件的基础上,构建开采模型。

(3) 采前规划决策。基于开采模型,综合考虑煤层赋存条件、煤岩分界线、采煤机预估运动轨迹、液压支架群组耦合状态,围绕采煤机截割轨迹、采煤机调高、工作面伪斜控制、工作面直线度控制、液压支架群组协同推进等需求规划控制策略,以满足实际煤层开采的要求。

(4) 随采智能控制。根据采前规划的控制策略,结合单机装备的自适应控制方法,实现综采装备动作精准、稳定、可靠执行。同时,通过智能化传感装置对综采装备自动控制执行效果进行实时反馈,以评估装备控制效果,相关评估结果会反馈至开采模型,以优化下一采煤作业循环的控制策略。

3 基于透明工作面的智能化开采关键技术

3.1 地质勘探技术

利用地质勘探技术系统性地开展综采工作面地质精细探测、地理信息解析,解决传统开采方式下煤层赋存不可预知的问题,将综采工作面地质信息由“黑箱模型”转变为“透明模型”,为煤炭智能化开采提供地质信息保障。目前应用较普遍的地质勘探技术有震波 CT 技术和微震探测技术。

震波 CT 技术是利用人工激发震源实现煤层勘探,在地质条件相对稳定情况下利用洛夫波速度成像原理可实现煤层厚度测量^[15],测量精度一般为煤层厚度的 5%~10%。震波 CT 技术原理如图 1 所示,通过在巷道部署地震波激发点(炮点)和地震波接收点(检点),按照顺序激发地震波,接收点部署传感器采集相关震动波,经过分析、解算地震波在传播过程中的波形来判断煤层厚度。通常在综采工作面初采前利用震波 CT 技术完成整个待开采煤层的勘探。

微震探测技术利用工作面微震事件形成的震动波在煤层介质内的速度场成像原理,实现综采工作面顶底板煤岩界面识别^[16]。微震探测技术原理如图 2 所示,一般以采煤机截割煤壁时产生的震动信号作为震动源,在运输巷、回风巷顶底板布置钻孔用于埋设光纤微震传感器,对超前工作面一定范围的待开采煤层覆盖区域的微震波进行检测,再利用微

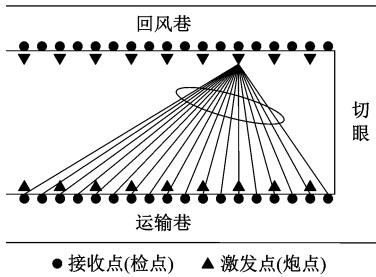


图 1 震波 CT 技术原理

Fig. 1 Principle of seismic wave CT technology

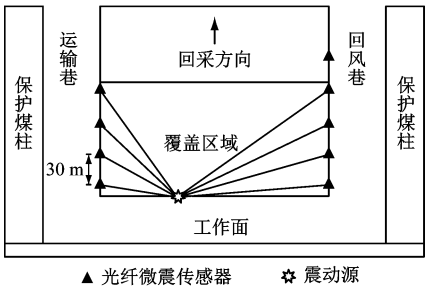


图 2 微震探测技术原理

Fig. 2 Principle of microseismic detection technology

震波波速反演、计算等方法实现工作面顶底板煤岩界面识别。光纤微震传感器随工作面回采推进交替前移,以持续对综采工作面未开采区域进行勘探。

3.2 综采装备定位技术

综采装备定位技术用于实现综采装备间、综采装备与煤层三维空间场间的空间位置耦合关联。通过在工作面运输巷内布置定位基站,接收采煤机定位标签发送的脉冲信号,从而测量定位基站与采煤机的相对位置,再根据定位基站的基准坐标,实现采煤机的空间定位。在移动的采煤机上配置惯性导航装置,可将采煤机运动轨迹转变为三维空间坐标。利用采煤机、液压支架、刮板输送机之间的物理约束关系,并结合综采装备推移行程、高度、姿态、角度等传感数据,以及综采装备结构尺寸参数,可计算出综采装备的空间三维坐标,从而描述综采装备之间相对空间位置关系。同时,定位基站采用与煤层三维空间场统一的三维坐标系统,即可实现综采装备在煤层三维空间场内的空间位置定位。

3.3 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术又被称为实景复制技术,其原理是扫描仪发射器发出的激光脉冲信号经物体表面漫反射后,沿几乎相同的路径反向传回到接收器,通过发射器偏转角度与激光行程时间即可计算物体的空间位置^[17-18]。该技术突破了传统激光单点测距的局限性,具有高效率、高精度的优势,可实现综采工作面复杂采场空间环境的三维激光点云数据采集^[19]。

针对综采工作面狭长的采场空间,在工作面端

头布置固定式三维激光扫描装置,在工作面中部布置移动式三维激光扫描装置,获取开采过程中整个工作面采场轮廓的三维坐标数据。同时,在运输巷、回风巷提前布置导向标志,用点对点传导的方式将导向标志的绝对坐标引入三维激光点云模型,从而构建具有绝对坐标的工作面数字化模型。

4 结语

基于透明工作面的智能化开采围绕煤层透明化、综采装备透明化、决策及控制透明化,以煤层超前探测、“机-环”模型关联、采前规划决策、随采智能控制为实现路径,通过综合应用地质勘探技术、综采装备定位技术、三维激光扫描技术,达到综采装备智能决策和自主执行的目标,为最终实现无人化开采奠定坚实基础。

参考文献 (References):

[1] 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.
WANG Jinhua, HUANG Zenghua. Innovation and development of intelligent coal mining science and technology in China [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 1-6.

[2] 张良,李首滨,黄曾华,等.煤矿综采工作面无人化开采的内涵与实现[J].煤炭科学技术,2014,42(9):26-29.
ZHANG Liang, LI Shoubin, HUANG Zenghua, et al. Definition and realization of unmanned mining in fully-mechanized coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 26-29.

[3] 黄曾华.综采工作面综合自动化控制技术综述[J].煤炭科学技术,2013,41(增刊2):282-284.
HUANG Zenghua. Statement on integrated automation and control technology in fully-mechanized coal face [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(S2): 282-284.

[4] 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,2014,42(1):60-64.
WANG Hong. Development orientation and research state on intelligent key technology in fully-mechanized coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 60-64.

[5] 王国法,范京道,徐亚军,等.煤炭智能化开采关键技术创新进展与展望[J].工矿自动化,2018,44(2):5-12.
WANG Guofa, FAN Jingdao, XU Yajun, et al. Innovation progress and prospect on key technologies of intelligent coal mining [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2): 5-12.

[6] 高有进,罗开成,张继业.综采工作面智能化开采现状及发展展望[J].能源与环保,2018,40(11):167-171.
GAO Youjin, LUO Kaicheng, ZHANG Jiye. Present situation and development prospect of intelligent mining on fully-mechanized working face [J]. China Energy and Environmental Protection, 2018, 40(11): 167-171.

[7] 田成金.煤炭智能化开采模式和关键技术研究[J].工矿自动化,2016,42(11):28-32.
TIAN Chengjin. Research of intelligentized coal mining mode and key technologies [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(11): 28-32.

[8] 王国法,张德生.煤炭智能化综采技术创新实践与发展展望[J].中国矿业大学学报,2018,47(3):459-467.
WANG Guofa, ZHANG Desheng. Innovation practice and development prospect of intelligent fully mechanized technology for coal mining [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018, 47(3): 459-467.

[9] 王存飞,荣耀.透明工作面的概念、架构及关键技术[J].煤炭科学技术,2019,47(7):156-163.
WANG Cunfei, RONG Yao. Concept, architecture and key technologies for transparent longwall face [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(7): 156-163.

[10] 吴立新,汪云甲,丁恩杰,等.三论数字矿山——借力物联网保障矿山安全与智能采矿[J].煤炭学报,2012,37(3):357-365.
WU Lixin, WANG Yunjia, DING Enjie, et al. Thirdly study on digital mine: serve for mine safety and intellimine with support from IoT [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 27(3): 357-365.

[11] 葛世荣,苏忠水,李昂,等.基于地理信息系统(GIS)的采煤机定位定姿技术研究[J].煤炭学报,2015,40(11):2503-2508.
GE Shirong, SU Zhongshui, LI Ang, et al. Study on the positioning and orientation of a shearer based on geographic information system [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(11): 2503-2508.

[12] 袁红兵.采煤机在线监测系统研究与应用[J].机械工程与自动化,2007(5):94-95.
YUAN Hongbing. Research and application of on-line monitoring system of the mining machine [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2007(5): 94-95.

[13] 任怀伟,赵国瑞,周杰,等.智能开采装备全位姿测量及虚拟仿真控制技术[J].煤炭学报,2020,45(3):956-971.
REN Huaiwei, ZHAO Guorui, ZHOU Jie, et al. Key technologies of all position and orientation monitoring and virtual simulation and control for smart mining

- equipment[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(3): 956-971.
- [14] 张守祥, 李森, 宋来亮. 基于惯性导航和里程仪的煤矿采掘设备定位[J]. 工矿自动化, 2018, 44(5): 52-57.
ZHANG Shouxiang, LI Sen, SONG Lailiang. Positioning of coal mining equipments based on inertial navigation and odometry [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(5): 52-57.
- [15] 余森林. 煤矿回采工作面透射多波处理技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
YU Senlin. The study of transmission wave processing technology in coal mining working face [D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2016.
- [16] 何正祥, 彭平安, 廖智勤. 基于梅尔倒谱系数的矿山复杂微震信号自动识别分类方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(12): 41-47.
HE Zhengxiang, PENG Ping'an, LIAO Zhiqin. An automatic identification and classification method of complex microseismic signals in mines based on Mel-frequency cepstral coefficients[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(12): 41-47.
- [17] 李小路, 曾晶晶, 王皓, 等. 三维扫描激光雷达系统设计与实时成像技术[J]. 红外与激光工程, 2019, 48(5): 35-42.
LI Xiaolu, ZENG Jingjing, WANG Hao, et al. Design and real-time imaging technology of three-dimensional scanning LiDRA[J]. Infrared and Laser Engineering, 2019, 48(5): 35-42.
- [18] 李仁忠, 刘洁. 三维激光扫描技术在高层建筑变形监测中的应用[J]. 重庆建筑, 2010, 9(10): 42-45.
LI Renzhong, LIU Jie. Application of three-dimension scanning technology in transmogrification monitoring in high-rises [J]. Chongqing Architecture, 2010, 9(10): 42-45.
- [19] 卢新明, 阚淑婷. 煤炭精准开采地质保障与透明地质云计算技术[J]. 煤炭学报, 2019, 44(8): 2296-2305.
LU Xinming, KAN Shuting. Geological guarantee and transparent geological cloud computing technology of precision coal mining [J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2296-2305.