

文章编号:1671-251X(2021)S2-0001-04

综采智能化自主割煤关键技术探讨

孟广瑞¹, 丁震², 李浩荡²

(1. 国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司, 陕西 神木 719315;

2. 国家能源集团 煤炭运输部, 北京 100013)

摘要:提出了综采智能化自主割煤概念,即在工作面开采环境感知的基础上实现从采场到开采设备的生产过程全面感知,实时计算采煤机截割目标并进行智能决策,指导采煤机自主截割。阐述了综采智能化自主割煤依托的关键技术,即三维地质模型构建、机器人巡检和三维激光扫描。利用巡检机器人搭载三维激光扫描设备进行全工作面三维激光扫描,建立与三维地质模型空间统一、可描述工作面已开采空间的全工作面点云模型,实现采场与开采设备位置信息动态融合关联,使综采装备可智能决策和自主执行,实现无人干预的自主割煤。

关键词:自主割煤;智能化开采;三维地质模型;机器人巡检;三维激光扫描

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Discussion on key technologies of intelligent and autonomous coal cutting in fully mechanized mining

MENG Guangrui¹, DING Zhen², LI Haodang²

(1. CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu 719315, China;

2. Coal Transportation Department, CHN Energy, Beijing 100013, China)

0 引言

当前煤炭开采技术已实现由机械化向自动化的跨越,并开始向智能化迈进;而智能化研究经历了以可视化远程干预为特点的 1.0 阶段和以工作面自动找直为特点的 2.0 阶段,可支持复杂条件下工作面自动化生产模式常态化运行^[1]。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和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^[2]。

随着综采工作面智能化开采技术深入推进,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构建全面感知、实时互联、自主学习、动态预测、协同控制的智能化一体管控平台,实现工作面开采过程的信息集成与分析、智能生产决策、综采装备自适应控

制^[3-4]。其中,透明工作面是指利用地质勘探、地理信息系统、传感网络、三维虚拟仿真等技术,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^[5]。但目前对于如何融合新技术推进自主割煤智能化开采还不明确。笔者在调研文献和应用实践的基础上,对综采智能化自主割煤关键技术进行探究,以期为建设智能综采工作面提供新思路。

1 综采智能化自主割煤概念

综采智能化自主割煤的核心在于探测采场环境和装备位置、姿态,将工作面信息数字化,为后续的控制提供完备信息支撑。

通过三维地质模型构建实现煤层透明化,以大数据和信息技术驱动煤层内部结构的可视化、数据化,实现煤层结构、煤岩关系、地理参数、地质演化等信息的精确采集^[6]。

通过机器人巡检对工作面进行实时动态探测,

收稿日期:2021-02-25;责任编辑:盛男。

作者简介:孟广瑞(1985—),男,内蒙古扎兰屯人,工程师,主要从事煤矿智能化方面的工作,E-mail:372456999@qq.com。

采用适用于井下狭长采场空间、危险恶劣工作环境、无卫星定位条件的基于轨道的巡检机构,以实现自主运行、多传感器融合、高精度探测和实时响应为核心功能^[7]。

通过三维激光扫描实现全工作面的扫描和集成,并结合地测数据和参照坐标,构建具有绝对坐标的数字化工作面模型^[8]。

围绕数字化工作面模型开展综合分析,可实现对当前采煤作业循环采煤机顶底板截割实际情况的感知,为下一次采煤作业循环煤层变化趋势、采煤机截割调整提供预判支撑。通过采场环境位置信息获得已截割曲线和待开采煤层曲线,即顶底板的扫描线和预测线。将预测线与扫描线做差,即可得到下一刀割煤循环的滚筒调整量。采煤机控制系统以滚筒调整量为指导,基于自身在采场坐标系的位置,动态调整滚筒高度,实现自主割煤。

2 综采智能化自主割煤关键技术

综采智能化自主割煤关键技术包括三维地质模型、机器人巡检和三维激光扫描,如图 1 所示。

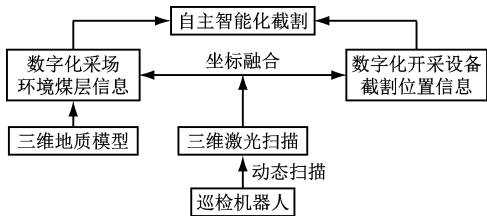


图 1 综采智能化自主割煤关键技术

2.1 三维地质模型

三维地质模型是工作面煤层在三维空间数字化的体现,是实现采场与开采设备坐标系融合的关键基础。三维地质模型构建过程主要是利用煤层顶底板等值线图来生成层状地质体模型。

煤层属于层状矿床,在层状地质体三维建模技术中,由于其形状较容易控制,多采用类似表面模型方法来自动生成三维地质模型,通常利用 Grid 或 TIN 建立层状矿的表面模型^[9]。采用表面模型虽然可以表达地质层面形态,但是难以解决地质体内部属性等问题,并且在断层、褶皱等地质构造上需要专门的处理方法。根据煤层顶底板等值线生成三角网,并生成棱柱体模型是最有效的建模方法。

高精度地质体建模主要采用 TIN、ARTP 技术,解决煤系地层及复杂地质构造、陷落柱等三维模型的交互式 and 全自动生成等难点问题^[10]。具体技术路线如图 2 所示。

为解决 TIN 对象数据点属性较为单一、在平面上的构型较为简单、边界形状较为规则、不适用于地

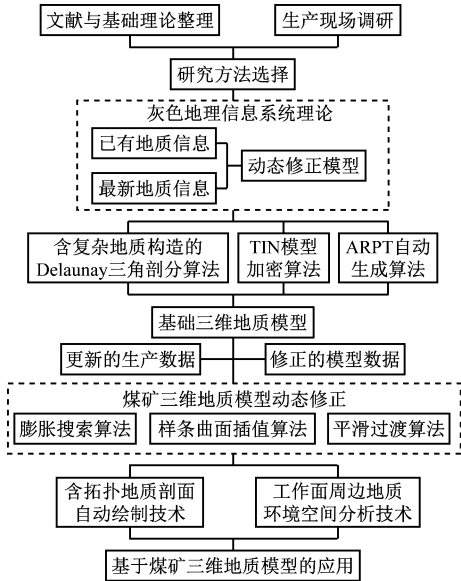


图 2 高精度地质体建模技术路线

质体内部复杂属性描述等问题,引入以 Delaunay 剖分准则为基础的三维建模算法。通过对原始数据及各类制图边界实体相关关系的研究发现,面对制图区域的数据点构型、属性、边界形状的复杂关系,需先建立原始点、线、面间的各种拓扑关系,再利用 Delaunay 剖分准则进行判别。

通过物探技术得到高分辨率数据后,还需对数据进行处理和推断,建立由较小或很小基本地质单元组成的反映地质体空间分布细节的地质模型,并提供对地质环境中的地质体进行操作和分析的功能。

选用 TIN 模型作为建立地质模型的基础。因此,可采用下述方法实现高精度三维地质模型更新:等值线加密后建立地层 TIN 模型;对原地层 TIN 模型进行局部或整体细分后重构地层 TIN 模型;已知数据点加入原地层 TIN 模型后重构地层 TIN 模型。

在开采过程中获得工作面煤壁处顶底板最新边界信息,将这些数据点作为已知数据,输入到地质模型中进行局部动态修正。

2.2 机器人巡检

高精度三维地质模型提供了采场环境的绝对坐标信息集合,但开采设备及其与采场对应关系无法通过地质模型来获取。因此需要通过三维激光扫描方法获取开采设备的动态三维点云模型,并将其与采场绝对坐标系融合,形成采场与开采设备的融合三维模型,为自主截割提供完备数据支撑。

三维激光扫描装置需要搭载在工作面巡检机构上,根据需要动态行进扫描,因此机器人巡检技术十分重要。

机器人巡检技术以巡检机构为核心,搭载三维激光扫描设备,采用轨道式行进方式,在开采过程中行进对工作面进行动态扫描,为自主割煤采场装备绝对位置采集提供装备层技术支撑。其具体实施是在工作面刮板输送机的电缆槽外侧,重新布置一套柔性双钢管轨道,实现巡检机构的行走功能,为工作面监测与数据采集提供快速移动的巡检平台。巡检机构主要针对工作面巡检应用,相比传统监控方式,降低了对工作面大范围监控设备覆盖的要求,减少了设备数量,在满足监控技术性能要求的前提下,降低了综采工作面监控设备装置的复杂程度和整体成本,有助于提高系统可靠性和可维护性,降低综采智能化的系统运营成本。

巡检机构按功能可划分为执行层、控制层、通信层及操作层。执行层包括驱动器、防爆电动机、编码器与定位系统、高清摄像机等,用以执行相关的动作要求、位置定位及采集工作面设备、煤层和围岩状况等;控制层包括微处理器和微控制器,控制巡检机器人(图 3)的操作动作;通信层包括现场总线网、无线通信网和工作面高速网络,负责监控中心监测站与移动机器人之间的数据传输;操作层包括运动控制与视频监测站,用于发送对机器人动作的操作指令及对工作面的实时监控。



图 3 巡检机器人

巡检机构主要包括巡检机器人平台、控制系统、通信系统与搭载的传感设备等。其在驱动系统作用下沿轨道自主行走,实时采集工作面各项监测数据,并通过工作面无线网络平台传输到集控中心,在监控界面实时显示监测数据。

巡检机构通过搭载的可见光摄像机上传采场工况和人员情况;通过红外摄像机观测采场设备温度,为自主割煤提供决策依据;通过三维激光扫描设备对工作面进行扫描,为自主割煤提供核心技术支撑。

巡检机构上位机平台既是巡检机构的控制与管理平台,也是设备状态信息与视频预览的监测平台,其相关功能见表 1。

2.3 三维激光扫描

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

表 1 巡检机构上位机功能

功能	描述
连接状态显示	展示状态连接与否,获知设备连接状态
信息集成显示	可获知巡检机构运行状态信息,包括位置、电量、里程、速度等
监测画面显示	将机头机尾微型摄像仪、云台摄像仪与红外摄像仪显示的画面实时上传
用户远控操作	用户可通过远控按键实现方向与档位的控制
巡检参数设置	通过设置巡检模式实现机构的区间巡检
跟机模式控制	通过关联采煤机的相关信息实现跟机巡检
空闲状态设置	空闲状态即停止状态,设置巡检机构停止待机
历史数据记录	状态信息、报警信息与故障信息的历史记录
故障预警	搭载设备故障、通信故障等报警功能
后台管理	用户管理,设备参数配置与上位机系统管理
惯导参数设置	确定工作面的巡检曲线
三维扫描显示	工作面三维扫描点云数据输出与显示

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^[11-12]。该技术突破了传统激光单点测距的局限性,具有高效率、高精度的独特优势,可实现综采工作面复杂采场空间环境的三维点云数据采集及建模^[13]。三维激光扫描装置在综采工作面的布置如图 4 所示。

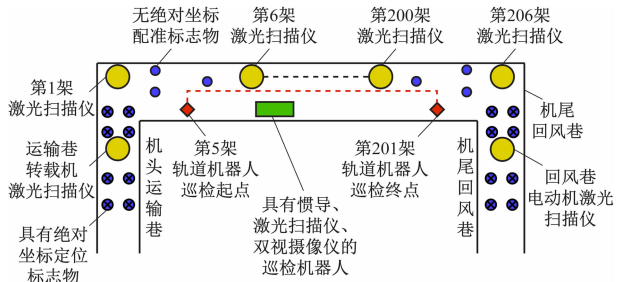


图 4 三维激光扫描装置布置

三维激光扫描装置通过巡检机构的正常行驶扫描完成工作面的点云数据(图 5),后台可导出具有深度信息的点云实际检测模型。

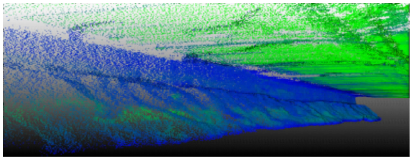


图 5 三维激光扫描显示

3 结语

利用巡检机器人搭载三维激光扫描设备进行全工作面三维激光扫描,并通过拼接、坐标转换等方法建立与三维地质模型空间统一、可描述工作面已开采空间的全工作面点云模型,实现采场与开采设备

位置信息动态融合关联。模型输出截割指导信息，使综采装备可智能决策和自主执行，实现适应煤层条件的智能化开采。

参考文献：

[1] 李首滨. 智能化开采研究进展与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10):102-110.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 丁震, 赵永峰, 尤文顺, 等. 国家能源集团煤矿智能化建设路径研究[J]. 中国煤炭, 2020, 46(10): 35-39.

[5] 王国法, 赵国瑞, 任怀伟. 智慧煤矿与智能化开采核心技术分析[J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 34-41.

[6] 赖传隆. 基于 Surpac 的三维地质建模及可视化技术

应用[J]. 中国煤炭地质, 2016, 28(7): 69-73.

[7] 李森, 王峰, 刘帅, 等. 综采工作面巡检机器人关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 218-225.

[8] 邱俊玲. 基于三维激光扫描技术的矿山地质建模与应用研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.

[9] 王昕, 简季, 杨武年, 等. 简单层状地质体三维建模初步研究[C]//第 3 届全国岩土与工程学术大会, 成都, 2009.

[10] 韩瑞栋. 煤矿三维可视化系统关键技术研究与实现[D]. 青岛: 山东科技大学, 2007.

[11] 李小路, 曾晶晶, 王皓, 等. 三维扫描激光雷达系统设计及实时成像技术[J]. 红外与激光工程, 2019, 48(5): 35-42.

[12] 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.

[13] 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.