

文章编号:1671-251X(2021)S1-0051-04

连续采煤机远程智能化控制

高强, 王军, 高小强, 任文清

(国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司, 陕西 神木 719315)

摘要:为推进掘进工作面无人作业,提出了连续采煤机远程智能化控制方案。采用激光导引跟踪装置和惯导系统,实现连续采煤机的精准定位、定姿;利用负载敏感自适应技术,根据负载自主调节进刀深度、截割速度等参数;利用多传感器信息融合技术,基于振动频谱、滚筒高度、截割电流等辅助识别煤岩分界,以便连续采煤机自动调高;通过 5G 无线网络将连续采煤机相关数据高速、可靠地传输至工作面集控中心;工作面集控中心远程监控连续采煤机,实现“一键启动、智能掘进、视频监控、人工干预”的功能。该方案可实现连续采煤机井下工作过程中的自主行走、自主截割。

关键词:连续采煤机;远程控制;智能控制;5G 通信;惯性导航;激光导引跟踪;自主截割
中图分类号:TD632 **文献标志码:**A

Remote intelligent control of continuous shearer

GAO Qiang, WANG Jun, GAO Xiaoqiang, REN Wenqing

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

0 引言

在《中国制造 2025——能源装备实施方案》中,将煤炭绿色智能采掘装备列为能源装备发展任务之一,先进的开采技术与装备是煤矿安全高效生产的核心技术支撑。掘进工作面是煤矿生产中设备多、环境恶劣、工作复杂的区域,连续采煤机作为掘进工作面的龙头设备,其实现智能远程控制需要解决连续采煤机的自动控制、定位定姿定向、煤岩分界辅助识别等问题。

为推进掘进工作面无人作业,实现传统煤矿的智能化转型升级,本文提出连续采煤机远程智能化控制方案,利用惯性导航、激光导引跟踪、多传感器融合、5G 无线通信等关键技术,达到快速安全掘进目标,可实现连续采煤机视频监控、远程控制、自动截割、人工干预相结合的生产模式。

1 连续采煤机远程智能化控制原理

连续采煤机远程智能化控制原理如图 1 所示。采用激光导引跟踪装置和惯导系统,实现连续采煤机的精准定位、定姿;利用负载敏感自适应技术,根据负载自主调节进刀深度、截割速度等参数;基于多

传感器信息融合技术辅助识别煤岩分界,以便连续采煤机自动调高;通过 5G 无线网络将连续采煤机相关数据高速、可靠地传输至工作面集控中心;工作面集控中心远程监控连续采煤机,实现“一键启动、智能掘进、视频监控、人工干预”的功能。

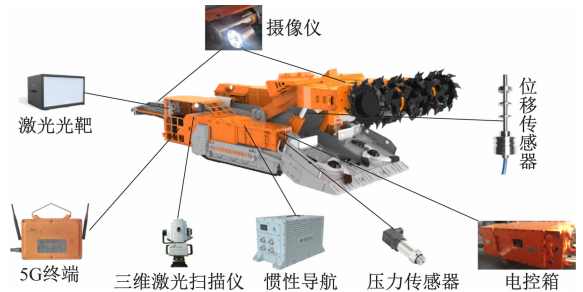


图 1 连续采煤机远程智能化控制原理

2 连续采煤机远程智能化控制关键技术

2.1 惯导技术

惯导系统是一种不依赖于外部信息、也不向外部辐射能量的自主式导航系统。惯导系统是以陀螺和加速度计为敏感器件的导航参数解算系统,该系统根据陀螺的输出建立导航坐标系,根据加速度计输出解算出运载体在导航坐标系中的速度和位置。

惯导系统优点:① 隐蔽性好,不受外界电磁干

收稿日期:2021-02-01;责任编辑:盛男。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801400);中国工程院重点咨询资助项目(2015-XZ-15);国家自然科学基金资助项目(50123456)。

作者简介:高强(1985—),男,陕西神木人,工程师,主要从事煤矿机电方面的工作,E-mail:491051357@qq.com。

扰影响;② 可全天候、全时间地工作于空中、地球表面乃至水下;③ 能提供位置、速度、航向和姿态角数据,所产生的导航信息连续性好且噪声低;④ 数据更新率高、短期精度和稳定性好。

但是由于惯导系统中核心元器件存在误差漂移,而所有的导航信息经过积分而产生,导致惯导系统定位误差随时间的增加而增大,长期精度差。尤其是井下工作环境中,缺乏有效的参考信息(如辅助卫星导航信息),无法正常使用。因此采用惯导系统与激光测量组合导航的方式,既可发挥惯导的优势,又可解决井下长时间漂移的问题。

惯导系统与激光测量组合导航基本原理如图 2 所示。在巷道顶板上悬挂激光导引装置,代替原有的矿用激光指向仪,向连续采煤机提供航向导引信息。在连续采煤机上安装位姿测量装置,当激光导引装置出射的导引激光投射到姿态测量装置的光靶上,光靶表面敏感激光光束并定位。当连续采煤机位置发生变化时,投射到光靶表面的激光点位置发生相对变化,通过检测该相对变化,得到连续采煤机的姿态信息(航向角、俯仰角和横滚角)和位置信息(连续采煤机在巷道空间中的绝对位置信息)。如果连续采煤机位置变化幅度较大,激光导引装置投射的激光跟踪连续采煤机的运动,并始终确保激光投射到光靶上,确保持续的测量。

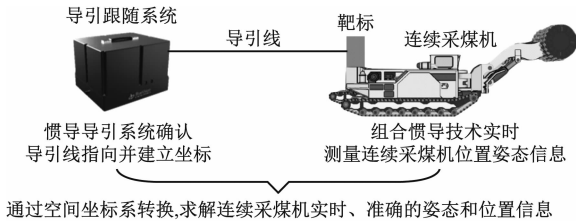


图 2 惯导系统与激光测量组合导航原理

2.2 运动控制技术

结合惯导系统提供的连续采煤机位置和姿态信息,控制系统主要实现的连续采煤机运动控制功能包括:① 确保单刀前进/后退时按照规定的基线方向走直线;② 连续采煤机从左帮到右帮的调机功能;③ 扫帮时保证巷道宽度。

在单刀进刀时,以实时获取的连续采煤机航向角信息为输入量,采用 PID 算法控制 2 条履带的行走电流,确保一旦发生航向角偏移,能及时纠正,具体原理如图 3 所示。

2.3 截割控制技术

调机控制采用“N×V 型”调机法,主要是通过连续采煤机的旋转、退机、前进等组合操作,实现连续采煤机平移。截割控制结合实际截割工艺,采用 13 步截割法。基于采高、振动、电流、视频等多传感

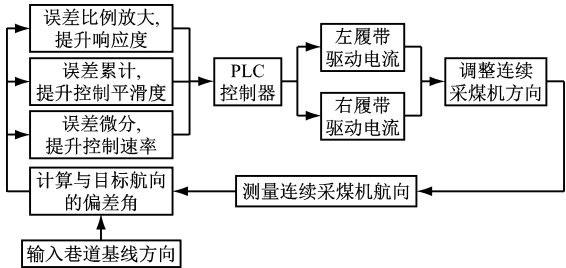


图 3 连续采煤机行走控制原理

器检测数据,利用合理算法辅助煤岩分界识别,进行连续采煤机自动调高控制。

2.4 5G 技术

5G 技术具有高速率(峰值传输速率达 10 Gbit/s)、低延时(端到端时延达毫秒级)、高系统容量和高运行速度等特点。

自建基站和 5G 核心网,形成 5G 专网可独享 5G 无线资源和网络资源。在地面机房布置 5G 基站控制器和 5G 基站,通过点对点链路注册到地面专网 5G 核心网上,实现 5G 专网信号覆盖。在井下布置 KT606-K(5G)矿用隔爆型 5G 基站控制器(基带控制单元(BBU)+远端数据汇聚单元(RHUB))和 KT606-F(5G)矿用隔爆兼本安型 5G 基站(微型射频拉远单元(pRRU)),通过万兆环网注册到地面专网 5G 核心网上,实现井下 5G 专网信号覆盖。5G 核心网采用虚拟化架构,利用 IT 虚拟化技术降低运维难度,采用 SDN/NFV 虚拟化架构实现网元/网络和管理网元内部组件化,根据需要对内部组件进行编排,构成完整的网络。灵活实现系统网元的动态扩缩容、自愈等功能,提高系统的可靠性和易操作性。

3 连续采煤机远程智能化控制界面

3.1 主界面

主界面如图 4 所示。

状态显示栏中的控制方式代表连续采煤机处于网控、遥控还是本控状态。网控状态代表连续采煤机处于集控室控制状态,此时连续采煤机可执行自动割煤程序,但可人工干预;遥控状态代表采用遥控器操作;本控状态代表可采用连续采煤机驾驶室的操作箱进行控制。电控箱状态栏有工作、操作急停 2 种状态,工作代表电控箱正常工作,操作急停代表电控箱处于急停保护状态,暂停工作。速度状态包含低速、中速、高速 3 种状态,分别代表连续采煤机行走的速度状态。

电动机状态显示栏主要显示连续采煤机油缸、除尘喷雾电磁阀、行走电动机、装运电动机、截割电动机的状态。不仅包括各个电动机工作时具体的电

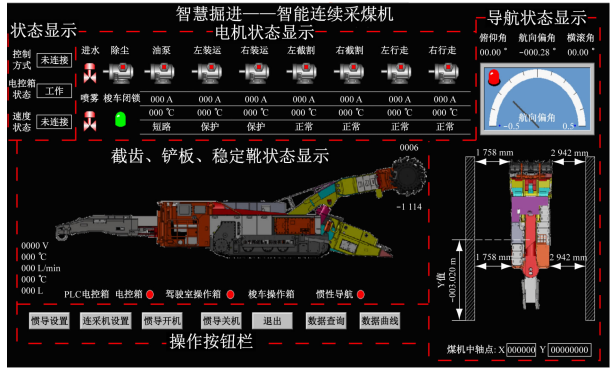


图 4 主界面

流参数、内部温度,还包括是否正常工作或者是保护停机。另外梭车闭锁状态显示梭车是否对连续采煤机实行闭锁,但仅限于网控状态。

导航状态显示栏中上半部分显示连续采煤机航向角、俯仰角和横滚角信息。航向角以仪表盘的形式显示,当指针在正中间时表示连续采煤机此时的航向角与指定的航向角方向一致,偏左表示连续采煤机当前航向较巷道基线偏左,偏右表示连续采煤机当前航向较巷道基线偏右。俯仰角表示连续采煤机机头方向与水平面方向的夹角,车头抬起时,俯仰角为正,车头下压时,俯仰角为负。横滚角表示车身的倾斜方向,当向右倾斜则为正,当向左倾斜则为负。同时航向角、俯仰角和横滚角的具体数值也可显示供操作人员判断。仪表盘左上角的红绿灯表示惯导运行状态,当惯导正常工作时为绿灯,没有工作或有故障时则为红灯(故障一旦消失则自动切换成绿灯)。仪表盘下方为连续采煤机在巷道中的位置信息,连续采煤机与两帮的距离、连续采煤机前进距离在该部分以动画形式显示。最下方的 XY 值为连续采煤机中心点的坐标信息。

截割滚筒/铲板/稳定靴状态显示栏中,当抬升/下降滚筒/铲板/稳定靴时,会在相应位置显示运动方向的箭头。同时,截割滚筒上下方的数据代表截割滚筒当前的上截齿和下截齿相对于底板的高度信息。

操作按钮栏则是用于惯导开关机、各界面切换使用。

3.2 惯导设置界面

惯导设置界面如图 5 所示。

预设参数显示栏主要是预先输入导航所需参数,其中最主要的是经度、纬度、高度及航向角。由地测提供当前工作地点的经纬度信息(误差 1 km 以内),航向角为巷道基线方向角度,也由地测提供,并且 1 次输入后自动记忆,无需反复输入。巷道号代表双巷工况下是左巷还是右巷。初始 XYZ 代表激光导引装置在巷道内的坐标信息。如果多次测量



图 5 惯导设置界面

后产生了累计误差,则将用到 XYZ 修正存储。XYZ 修正存储代表修正后的激光导引装置的坐标。

工作状态显示栏中显示了整个导航系统所有用到的设备的工作状态。惯导状态代表惯导系统当前工作状态,如果刚上电发送惯导启动命令,则惯导状态将经历初始化→对准中→对准完成状态变化,仅当对准完成状态下,才代表惯导正常工作。光电测量状态在惯导对准完成后 15 s 将切换到有效状态,代表能够正常工作,如果是无效状态通常情况下是激光导引装置与连续采煤机上的位姿测量装置之间的连接受到阻挡。激光导引状态是在惯导对准完成后 10 s 切换到完成状态,代表可正常工作。如果发生故障,则会在后面的云台故障、轨迹故障、模块故障中标记出来故障信息。工作状态显示栏中,当惯导系统状态为对准完成、光电测量状态为有效、激光导引状态为完成时,系统正常工作。

导航结果显示栏中给出了连续采煤机系统中各关键位置的信息状态。经度、纬度、高度代表连续采煤机当前的位置信息(与预设状态栏中的输入信息一致);中心点 XYZ 代表连续采煤机上位姿测量装置的坐标;基准点 XYZ 代表激光导引装置的坐标,航向角、俯仰角、横滚角代表连续采煤机的姿态信息;A 至 H 点的 XYZ 代表连续采煤机上其他特征点的坐标信息,包括截割滚筒两端、连续采煤机机身后方左右两点、连续采煤机中心点等位置坐标信息。

界面切换按钮可实现惯导设置界面向主界面、连续采煤机设置界面的切换。当多次测量存在较大累计误差后,将校正好的激光导引装置的坐标信息输入预设参数设置栏后,点击校正按钮,完成误差校正。

3.3 连续采煤机设置界面

连续采煤机设置界面主要是针对连续采煤机割煤、调机的具体参数进行设定,如图 6 所示。割煤距离是指每次设定的完整程序的割煤距离;单刀进尺是指每个循环进刀的深度;循环次数是为达到目标割煤距离所需通过的完整循环数;上高度设定存储、下高度设定存储代表截割滚筒运动的最高和最低

值,对应顶底板的高度值(连续采煤机履带底面为 0);移机最大距离、巷道左 X 坐标、巷道右 X 坐标用于调机,其中移机最大距离代表“N×V 型”调机法中煤机后退距离,巷道左 X 坐标、巷道右 X 坐标代表巷道左帮和右帮的坐标参数;导航角度修正是修正位姿测量装置安装在连续采煤机上的安装偏角。



图 6 连续采煤机设置界面

4 结论

(1) 连续采煤机自动控制功能是智能化掘进的基础,主要采取增设传感器、自动化控制箱实现对连续采煤机动作机构的检测和控制,同时用多个不同类型的摄像仪进行多角度视频监控,增加系统的安全性。

(2) 连续采煤机的定位定姿定向功能主要依靠惯导系统与激光测量组合导航,激光导引装置实时追踪定位连续采煤机,惯导系统实时提供精确的角度(航向角、俯仰角、横滚角)和位置(连续采煤机在巷道的精确坐标),为连续采煤机自动控制提供位置基础。

(3) 煤岩分界辅助识别主要是通过振动频谱、滚筒高度、截割电流等数据综合判断,以便连续采煤机自动调高。

参考文献:

[1] 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.

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

[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.

[4] 王翀, 魏立科, 张冬阳, 等. 煤矿智能化建设目标和总体框架的研究与设计[J]. 中国煤炭, 2020, 46(4): 26-31.

[5] 陈晓晶, 何敏. 智慧矿山建设架构体系及其关键技术

[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(2): 208-212.

[6] 张小刚. 采掘工作面设备智能化控制系统的研究[J]. 煤矿机械, 2013, 34(2): 219-221.

[7] 李梅, 杨帅伟, 孙振明, 等. 智慧矿山框架与发展前景研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 121-128.

[8] 吕鹏飞, 何敏, 陈晓晶, 等. 智慧矿山发展与展望[J]. 工矿自动化, 2018, 44(9): 84-88.

[9] 吕鹏飞, 郭军. 我国煤矿数字化矿山发展现状及关键技术探讨[J]. 工矿自动化, 2009, 35(9): 16-20.

[10] 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.

[11] 杨俊哲. 8.8 m 智能超大采高综采工作面关键技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 116-124.

[12] 唐恩贤, 张玉良, 马骋. 煤矿智能化开采技术研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 111-115.

[13] 黄曾华, 王峰, 张守祥. 智能化采煤系统架构及关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 1959-1972.

[14] 杜毅博, 赵国瑞, 巩师鑫. 智能化煤矿大数据平台架构及数据处理关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 177-185.

[15] 高旭彬. 综掘工作面远程可视化控制关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(6): 17-22.

[16] 李首滨. 煤炭工业互联网及其关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 98-108.

[17] 孙继平. 煤矿信息化自动化新技术与发展[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 19-23.

[18] 郝建生. 煤矿巷道掘进装备关键技术现状和展望[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(8): 69-74.

[19] 王汝维, 张世勋, 张春堂. 煤矿井下掘进设备现状及发展[J]. 中国科技博览, 2014(34): 293.

[20] 祁和刚. 薄煤层开采技术与成套装备研究及应用[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 12-16.

[21] 庞义辉, 王国法, 任怀伟. 智慧煤矿主体架构设计与系统平台建设关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(3): 35-42.

[22] 卢新明, 闫长青, 袁照平. 掘进机精准定位方法与掘进机器人系统[J]. 通信学报, 2020, 41(2): 58-65.

[23] 葛世荣. 智能化采煤装备的关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 7-11.

[24] 葛世荣, 王忠宾, 王世博. 互联网+采煤机智能化关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 1-9.