

煤矿智能掘进机器人技术分析

常德志

(鄂尔多斯市转龙湾煤炭有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017200)

摘要: 煤矿巷道掘进的特点是劳动负荷大、工作条件复杂、人员规模大、装备智能化水平低,这不利于煤矿的智能化升级以及绿色、安全、高效发展。研发应用煤矿智能掘进机器人能够远程监控掘进装备、降低工作者的负荷、减少工作面人员数目、防范噪音和粉尘危害,从而可以保障煤矿工人的安全,确保煤矿无人化、少人化生产目标的实现,这奠定了煤矿智能化建设的良好基础。为此,文章分析了煤矿智能掘进机器人系统及其一些重要技术,以及发展趋势和方向。

关键词: 智能掘进; 机器人; 技术; 发展

0 引言

我国的煤层赋存具备复杂的条件,面临瓦斯和水突出、顶底板松软、煤层大起伏、片帮和夹矸并存等现状,煤矿巷道智能化掘进机的实现具备非常大的挑战和艰巨的任务。根据我国煤矿巷道掘进的特色,务必实现掘进技术和装备的创新,提升快捷化、智能化、并行化、成套化、柔性化水平,保障其稳定性和适应性。因此,务必以制约煤矿巷道掘进的核心技术问题深入研发新型智能掘进机器人系统,这样才可以实现煤矿巷道掘进工艺和装备水平的综合提高,以保障巷道的安全、绿色、智能、高效掘进和最大程度地解放生产力,从而实现社会效益与经济效益的增加。

1 煤矿智能掘进机器人系统

截割机器人、钻锚机器人、支护机器人 I 和 II、锚网输送机器人、电液控制中心等组成了煤矿智能掘进机器人系统,其功能是自动截割、智能钻锚、自动行走和布网、定向定位等,可以使地面远程控制、矿井近程控制、本地控制的目标实现。

1.1 截割机器人

截割机器人的主导功能在于截割断面煤岩,其组成部分是控制和检测系统以及截割、装载、进给等机构,截割机构结合煤岩硬度应选用全断面双纵轴或伸缩性横轴滚筒,其结合煤矿巷道截距和截割断面大小研发结构布局以及截割办法,确保截割的自动化和智能化实现,以及确保定形的精准化。

1.2 支护机器人

支护机器人 I 和 II 不但可以保障围岩的安全与稳

定,而且担负机器人行走任务,其组成部分主要是电液本地控制、“惯导”+定向定位等系统,支护机器人中安装的电液控制和“惯导”+定向定位系统可以定位和导航机器人系统,而支护机器人 I 与 II 协同运行,确保机器人系统整体的稳定运行。

1.3 钻锚机器人

钻锚机器人的主要作用是上锚杆、打锚杆,其组成部分是侧帮护盾、辅助操作升降中心、锚杆钻机、电液控制和感知系统等,结合人机协同、可以进行钻机的准确定位、自动安装和钻孔、锚杆紧固等。

1.4 锚网输送机器人

锚网输送机器人的作用是布网、输送、抓取、顶网等,其组成部分是顶网、锚网库、爪网机械手等,可以自主进行取网和顶网等。

1.5 电液控制中心

电液控制中心属于机器人系统整体电液动力的来源,其主要组成部分是液压泵、组合开关、监控平台等,可以使机器人系统的运行、启停、操控、监测等功能实现。

2 煤矿智能掘进机器人的一些重要技术

煤矿智能掘进机器人有位姿监测以及精准导航系统,能够结合自身位置和姿态的改变自主进行纠偏或优化,从而跟底板起伏与巷道断面等地质状况相符合,确保自主定位导航的实现。然后以此为基础,掘进机器人能够开展远程遥控操作截割、自动截割、自适应截割、自主记忆截割。

2.1 机身定姿和定位技术

因为矿井设备难以跟卫星进行直接通信,所以其

精准遥感导航的功能难以实现。惯性导航系统的特点是：勿需依靠外部信息，以及不往外部辐射能量，具备较好的抗干扰性与隐蔽性；能够在任何空间实现全时运行；具备较好连续性的测算姿态角、航向角、速度、位置以及噪音低；数据稳定以及具备较高的短期精度和更新率。惯性导航系统在掘进工作面的应用具备良好的适应性。

作为一种推算导航形式，惯性导航系统结合在设备上安装的三个方向的加速度计以及三轴陀螺仪可以测量设备三维空间的加速度和姿态角，由初始部位结合不间断测得的设备速度和航向角推算下个部位，进而对设备当前的部位进行测算。惯性导航系统的组成部分是两种惯性敏感元件，即加速度计与陀螺仪，由陀螺仪建构一种导航坐标系，此坐标系中映射了加速度计的测量轴，进而测得姿态角以及航向角，通过加速度计对时间的一次积分测算速度，然后速度经由对时间的一次积分能够获得设备运行距离。为了实现惯性导航系统精度的提升，掘进机器人需要搭载惯性测试模块（高精度加速度计、光纤寻北仪、光纤陀螺仪等），其中，光纤陀螺仪的特点是抗振动性能优、启动时间短、零点漂移小、工作带宽大、抗冲击性能强等；光纤寻北仪能够大大地降低温度改变形成的不利影响，较强的抗振动性能和非常低的零偏可靠性跟掘进机器人的运行条件非常适应；而高精度加速度计属于精准控制惯性导航系统的基本条件，可以使三个惯导轴向加速度累计误差减少。基于时间的推移，独立惯性导航系统会逐步

增加累计误差，而为了将惯性导航仪坐标系偏移形成的累计误差消除，可以组合应用惯性导航系统和激光导引技术，从而调整惯性导航的测量值。为了确保矿井掘进机器人导航精度，需要确保零偏可靠性在 $50\mu\text{g}$ 以内、加速度计量程比 $\pm 20\text{g}$ 高、寻北时间在 5min 以内、姿态角和方向角精度在 $0.02(^{\circ})/\text{h}$ 以内，以及光纤陀螺仪量程高在 $\pm 300(^{\circ})/\text{s}$ 以内。

2.2 机身状态感知技术

掘进机的状态信息涵盖下面几部分：机身姿态信息（俯仰角、横滚角、导向角等）；掘进机工作情况信息（牵引电动机、通风机电动机、装运电动机、截割电动机、泵电动机等）；动作信息（铲板高度、截割高度、稳定靴部位等）。上述信息都结合传感器进行采集，且向远程集控平台和核心计算机上传数据信息。掘进机器人视频监控通过矿用黑光低照度成像技术以及本安型云台红外热成像技术相统一的摄像仪（分辨率在 400 万像素以上），摄像仪有效统一了红外补光、角度优化、音视频采集、距离调整等功能，可以综合视角监控掘进机的音视频。掘进机器人设计的一系列感知元件能够取代司机的触觉、听觉、视觉，让设备可以预判故障、监控视频、记录状态等，确保对机器人的人工干预、自动截割、远程监控、视频控制。其中，掘进机器人感知元件分布如图所示。

2.3 人工干预与自动截割技术

2.3.1 人工干预技术

掘进机器人远程人工干预操控中心有监控系统和遥

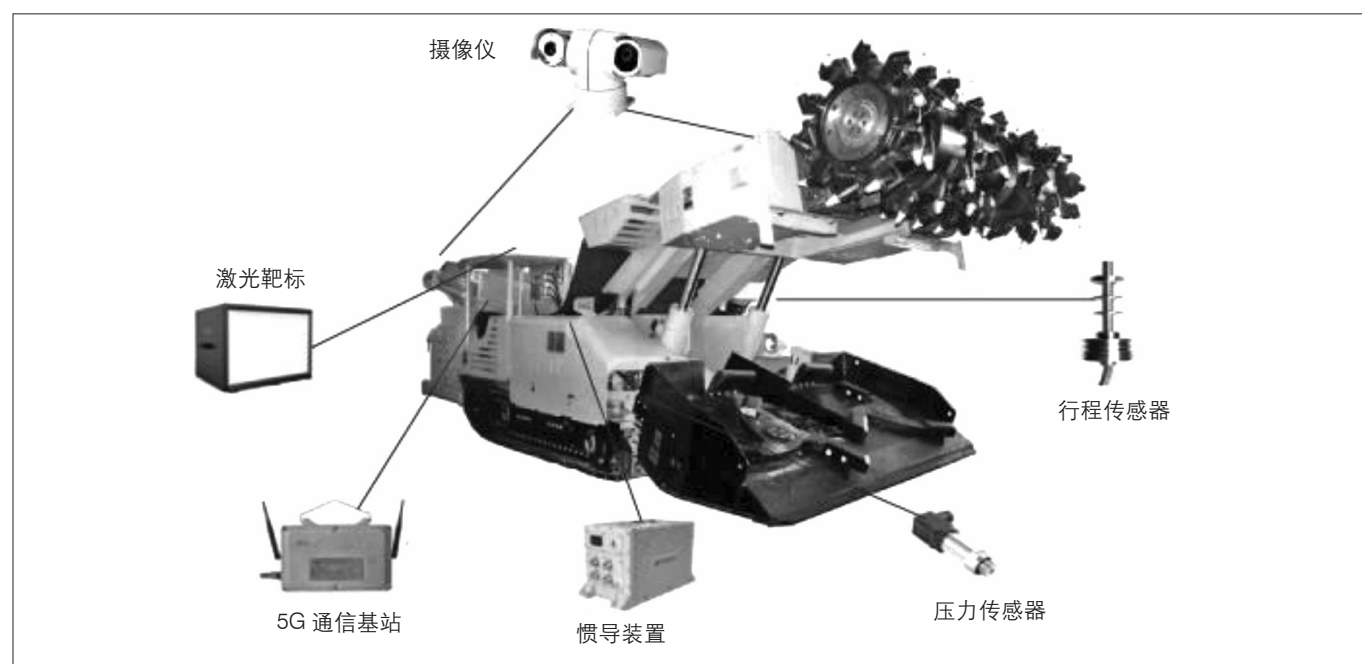


图1 掘进机器人感知元件分布

控器总称。其中,遥控器总成的功能是保护信号中断、急停设备、显示信号、远距离控制等,遥控响应的时间不超过100ms,而远程控制的功能是远程操作、流程优化、参数调整等。监控系统能够对机器人的工作情况、视频画面、动作信息、位姿导航状况进行实时监控。

2.3.2 自动截割技术

结合煤矿巷道掘进工艺,掘进机器人根据核心计算机智能化水平,其自动截割主要有三种方式,即自主截割、预测截割、记忆截割,进而实现掘进的实际需要。其中,记忆截割即掘进机器人对采煤机师傅的示范刀轨迹进行学习且自主生成标准截割工艺,以及自主根据示范刀实现截割模板,其难以对割煤轨迹自主修改,人工干预设计割煤参数。预测截割即掘进机器人对历史截割信息进行分析,对煤层改变的特点进行计算和识别,然后对下一刀的截割轨迹做出预测,以及一次预测截割煤信息之后实现截割,通过自主学习对截割煤信息进行一次预测,这样往复循环进行。自主截割即掘进机器人结合对工作面实测模型和三维地质模型比较,以及立足于对掘进机工作情况、顶底板状态、煤层改变特点等信息的全面分析应用优化算法形式执行一系列掘进循环的截割。

2.4 无线通信网络技术

掘进机器人远程控制需要对很多的数据信息(环境状态、设备、控制命令、音视频等)进行传输。结合掘进机器人的工作特点,适宜应用无线通信网络。为了实现掘进机器人远程监控的实际需求,煤矿工业网络需要具备的特点是抗干扰性、低延时性、大带宽性。当今矿井环网可以达到1万兆的最大带宽,且以以太网交换机设备充当二级交换设备,其中掘进机器人发展的通信网络瓶颈在于二级交换和组网难以实现毫秒级末端通信标准。而5G通信的传输速率非常高,大概是100Gbit/s,至少为4G通信网络的百倍。5G通信网络延时大概不到毫秒级。并且,5G通信网络大概是4G网络吞吐量的百倍。理想状况下5G通信网络端到端为1ms的延时。总之,掘进机器人控制延时达到了毫秒级别,稳定性也非常高,5G技术跟实际需求相符合。因为矿井通道的特点是狭长型,往往存在坡度和弯道,所以5G通信基站应用了定向天线、耦合器等室内分布天线系统,可以结合天线系统覆盖范围和巷道走势灵活设计有关基站,进而大大地防范衰减信号。

2.5 人机交叉作业安全防护技术

掘进机器人在提升运行效率的情况下,有关作业人员(检修工、锚杆机师傅、煤机师傅、支护工、运煤

车师傅、采煤机师傅等)也面临一定的安全隐患。为了保障掘进机器人跟其他作业人员的安全、交叉作业,需要将人员接近监测系统安装在掘进机器人上,以对相应距离的作业人员进行探测。人员接近监测系统可以评价掘进机器人本身和附近范围的危险等级,结合各种危险等级划分为停机、警告、操作等范围,当人员进入实现设计的范围情况下,预警信号被系统自动发出,要么是移动设备暂停工作,进而防范作业人员受到设备的伤害。人员接近监测系统的主导组成部分是人员携带的本安信息化矿灯以及机载设备,这两个组成部分都结合电磁波进行定位与通信。机载设备供电形式是直流电,其组成部分是探测器与主控器,结合通信电缆实现机载一系列设备间的连接,以顺利传输信号。主控器跟机器人电控箱进行连接,其具备的功能是停机控制和系统取电。人员接近监测系统的本安信息化矿灯与机载设备标志卡彼此对电磁波进行发射,结合光速与电磁波传输时间可以对两者间距进行计算,结合系统主控计算机对人员跟一系列探测器的间距进行计算,这样能够对人员所在的范围坐标进行识别。在人员到达警示范围的情况下,自动预警信号发出,对人员做出提醒。当停机范围进入人员的情况下,掘进机器人暂停运行,避免对作业人员形成伤害。总之,人员接近监测系统具备双向报警、自动停机、启机检测的功能。其中,双向报警即当人员进入警告范围的情况下,系统能够检测到,并且的本安信息化矿灯与机载设备可以将声光报警信号发出;自动停机即系统检测到停机范围有人员经过的情况下,迅速让掘进机器人暂停运行,进而防范伤害人员。启机检测对于通电之后的掘进机器人而言,当人员进入监测系统迅速工作时,设备启机操作被禁止,从而防范设备伤害人员。

3 煤矿智能掘进机器人技术的发展趋势和方向

煤矿智能掘进机器人无人化生产的实现务必应用先进的人工智能、大数据、云计算、5G传输等技术,将自主控制和感知的性能赋予掘进装备。煤矿智能掘进机器人具备高集群化、高智能化、高适应化的发展趋势和方向。

一是高集群化。煤矿巷道智能掘进需要一系列设备的协同运行,其中,各种智能掘进设备(运煤机器人、支护机器人、掘进机器人、钻探机器人等)可以群组化、协同化、快速化运行,从而使无人化生产的运输、支护、掘进、探测等功能实现。

二是高智能化。煤矿智能掘进机器人能够由人工干

预逐步发展为自主截割,从而凭借机器人的自主意识进行高质高效、复杂的掘进生产。

三是高适应化。各个煤矿的赋存状况存在较大的不同之处,相同矿井拓展各种巷道的情况下,要求的工艺技术水平也存在差异。因此,后续煤矿会根据各种生产工艺条件研发特型的掘进机器人,以确保其适应性能的强化。

4 结语

综上所述,掘进和采煤工作面的智能化属于煤矿智能化的中心环节,有关采煤工作面智能技术业已研发多年,具备了一定的效果。然而,掘进工作面智能化技术的研发处在初期,不但缺少良好的基础条件,而且受到掘进条件的制约,因此应在后续工作的持续探究,逐步提升煤矿智能掘进机器人技术水平,从而使无人化、自动化、智能化生产目的实现。

参考文献:

- [1] 张李鹏. 煤矿巷道快速掘进影响因素分析与对策[J]. 当代化工研究, 2021(7): 91-92.
- [2] 秦艳峰. 复杂地质条件巷道快速掘进及支护系统的研究[J]. 机械管理开发, 2021, 36(7): 201-202.

[3] 龚伟华. 掘进机截割横切速度及钻进速度对截割性能的影响分析[J]. 机械管理开发, 2021, 36(10): 86-87+102.

[4] 洪飞. 基于数字孪生和数据驱动的新型煤矿智能支护监控系统设计[J]. 煤矿现代化, 2021, 30(5): 116-118+122.

[5] 华洪涛, 马宏伟, 毛清华, 等. 基于捷联惯导和推移油缸信息融合的智能掘进机器人位姿测量方法[J]. 煤炭工程, 2021, 53(11): 140-145.

[6] 高佳晨, 马宏伟, 王川伟, 等. 煤矿巷道掘进锚网运输机器人结构设计及运动规划[J]. 煤炭工程, 2021, 53(11): 175-180.

[7] 马宏伟, 王世斌, 毛清华, 等. 煤矿巷道智能掘进关键共性技术[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 310-320.

[8] 马宏伟, 王鹏, 王世斌, 等. 煤矿掘进机器人系统智能并行协同控制方法[J]. 煤炭学报, 2021, 46(7): 2057-2067.

[9] 杨成龙. 宁夏煤业公司智能化建设探索与实践[J]. 能源科技, 2021, 19(1): 1-7.

[10] 廖敬龙, 刘长来, 王学强. 煤矿快速掘进系统建设主要模式及应用成效[J]. 山西煤炭, 2021, 41(2): 94-99.

(上接第40页)

向,同时搭建数据库,应用先进软件,详细分析传动系统制造过程,此外,做好行走驱动的一致性控制,落实液压传动控制系统安全维护工作,从不同角度应用液压传动控制系统,尽可能发挥出其优势,规避其缺点。

参考文献:

- [1] 丁永强, 崔广夫. 液压传动控制系统在机械设计及制造中的应用分析[J]. 中国设备工程, 2021(19): 110-111.
- [2] 刘增温, 王娟, 郝升学, 等. 液压机械传动控制系统的应用分析[J]. 山东冶金, 2021, 43(03): 82+84.

[3] 李宏增. 农业机械制造中液压传动控制系统设计原理及应用注意事项[J]. 南方农机, 2021, 52(02): 59-60.

[4] 王菊敏. 液压机械传动控制系统在机械设计及制造中的应用探讨[J]. 科学技术创新, 2020(13): 177-178.

[5] 田志远, 于明辉. 机械设计制造中液压机械传动控制系统的应用[J]. 内燃机与配件, 2019(21): 254-255.

作者简介: 杨君(1984.10-),男,汉族,河南驻马店人,硕士研究生,高级讲师,研究方向:机械制造及其自动化的教学与科研。