

煤矿井下智能化钻探装备发展现状及展望

郝世俊, 姚克, 方鹏, 王龙鹏, 邬迪, 张锐

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 经过近60年的发展, 煤矿坑道钻探装备已经形成满足多种用途、适用于多种钻进孔深要求的多规格、多系列产品, 但现有成熟钻探装备主要以全液压驱动和人工操作为主。随着我国煤矿企业在智能化方面建设的大力投入, 传统全液压驱动的坑道钻探装备已无法满足当前煤矿智能化发展需要。结合坑道钻探的施工特点, 分析了国外典型坑道钻探装备的技术现状和功能特点, 以及存在的问题, 重点针对国内坑道钻探装备不同施工需求的智能化方面的进展情况进行概述, 分别介绍了常规自动化钻机、钻孔机器人、大功率自动化定向钻机、自动化防冲击钻机等方面的研究进展, 提出了我国煤矿井下钻探装备智能化建设方面还需解决的关键问题, 并通过分步实施方式, 加快推进煤矿井下钻探装备的智能化水平。

关键词: 钻探装备; 智能化; 防爆控制; 远程控制; 定向钻进; 煤矿

中图分类号: P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0029-04

Development status and prospect of underground intelligent drilling equipment for coal mines

HAO Shijun, YAO Ke, FANG Peng, WANG Longpeng, WU Di, ZHANG Rui

(Xi'an Research Institute Co., Ltd. of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Over 60 years of development, underground drilling equipment for coal mines has been developed in multiple sizes and series which meet the requirements of various purposes and various drilling hole depth. However, the existing proven drilling equipment mainly runs with full hydraulic drive and manual operation. With the great investment in the intelligent construction by China's coal mining enterprises, the traditional full hydraulic drive underground drilling equipment can not meet the current needs of intelligent development of coal mines. In regard to the construction characteristics of underground drilling, this paper analyzes the technical status and functional characteristics of typical underground drilling equipment abroad, as well as the existing problems, with focus on the progress of domestic underground drilling equipment with different construction requirements in terms of intelligence, and introduces the conventional automatic drilling machine, drilling robot, high-power automatic directional drilling machine. The key problems to be solved in the intelligent construction of underground drilling equipment in China are put forward, and the intelligent level of underground drilling equipment in coal mines is accelerated through the distributed implementation mode.

Key words: drilling equipment; intelligent; explosion proof; remote control; directional drilling; coal mines

0 引言

煤矿井下钻孔施工是进行瓦斯抽采、水害防治、隐蔽致灾因素探查的主要技术手段, 坑道钻机

是钻孔施工的核心装备, 随着技术的发展和用户需求的日益提高, 我国煤矿井下坑道钻机的发展也呈现多用途、多功能、多结构、多工艺等典型特点, 钻

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.005

基金项目: 国家科技重大专项课题(编号: 2016ZX05045-003)

作者简介: 郝世俊, 男, 汉族, 1970年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事煤矿区钻探工艺开发研究与推广应用工作, 陕西省西安市高新区锦业一路82号, haoshijun@cctegxian.com。

引用格式: 郝世俊, 姚克, 方鹏, 等. 煤矿井下智能化钻探装备发展现状及展望[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 29-32.

HAO Shijun, YAO Ke, FANG Peng, et al. Development status and prospect of underground intelligent drilling equipment for coal mines[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 29-32.

机的能力也逐渐得到提升,最大可以满足2000 m以上超长钻孔施工需要。经过近60年的发展,尽管坑道钻机的结构、功能和性能都得到了全面提升,但总体还是以全液压驱动为主要传动形式,以人工操作为主要施工方式,自动化程度相对较低。国外在钻机的自动化方面的研究工作早于国内,部分先进的钻探装备已经普遍采机电一体化技术,实现了装备的自动控制,但主要以金属矿山、公路隧道为应用场景,无法满足国内煤矿安全使用需要。

随着我国煤矿开采向智能化方向的发展,结合“机械化换人,自动化减人”的迫切需求,我国煤矿井下钻探装备正朝着自动化、信息化、智能化的方向发展,国内重要的坑道钻机生产企业围绕钻机的智能化方面进行了大量的投入和科研攻关,为推动煤矿坑道钻探装备的发展和行业进步做出了积极贡献。

1 国外智能化钻探装备

国外煤矿井下钻探技术与装备的发展起步较早,其中主要以美国、澳大利亚和德国为代表,代表性钻机产品包括Fletcher公司的长壁工作面钻机、Acker公司的BigJohn MPM钻机、Atlas Copco公司的Diamec系列钻机,可以满足煤矿井下多种施工需要。另外如Sadvik公司和Boart Longyear公司开发的多功能坑道钻机,因其具有结构合理、自动化程度高的特点得到了广泛应用。在上述典型坑道钻机产品开发的基础上,Atlas Copco公司在产品的自动化、智能化和信息处理方面进行了长期研究,并取得了突出成绩,形成了代表目前全球最高技术水平的凿岩钻机产品。

Diamec Smart系列钻机(见图1)采用先进的控制系统,具有自动接卸钻杆等自动化钻探功能。通过独特的钻杆装卸系统,可以使操作人员在安全距离外进行钻机操控,所有孔内钻具的投放和提升工作都可以通过钻机自动完成。通过远程控制系统,可以快速设定和监测钻进参数。

Smart ROC系列钻机通过采用智能控制技术,大大简化了钻机操作,有效减少了非钻进时间。Bench Remote远程控制系统可以应用在Smart ROC系列钻机上进行远程控制。即使在危险区域,操作人员也可以在安全区域进行远距离操作,而且一名操作人员可以同时控制3台钻机,显著提高生产效率。Pit Viper系列自动化钻机实现了全自动、无人化操作,在千里之外的远程操作站即可对钻机

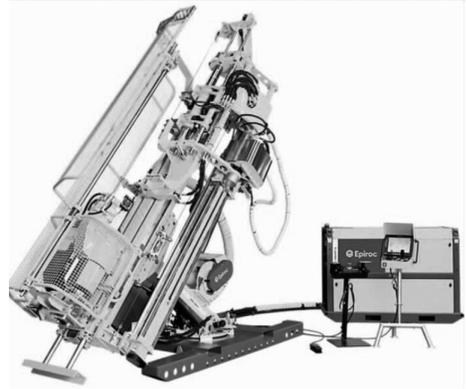


图1 带自动卸杆系统的Diamec Smart 6钻机

进行操控,而且可以实现从任何地方的远程控制站操作PV系列钻机。Smart ROC系列智能钻机不仅能高效精确进行钻孔施工,还具备自动化钻孔和钻杆装卸等智能化功能。操作员仅需按一下操作按钮就可以实现对钻机的各种操作。Pit Viper系列自动化钻机通过其自带的RCS控制系统,可以实现钻机的自动调平、无线连接、自动换杆、随钻测量、参数实时监测和数据分析等功能。

国外钻机产品虽在自动化、智能化和信息化方面取得了很大发展,代表着行业最高水平,引领着行业的共同进步,但受限于煤矿安全的相关要求的不同,目前还没有能直接满足国内煤矿安全使用要求的坑道钻机产品。

2 国内煤矿智能化钻探装备

从20世纪80年代开始国内煤矿井下钻探技术与装备的发展,主要依托各大科研院所开展钻探装备的科技研发,并取得了显著的研究成果,通过成果转化实现钻探装备的推广应用。经过近40年的持续发展,目前已经形成以西安研究院、重庆研究院、江苏中煤、冀凯科技、铁福来等为典型代表的煤矿井下钻探装备生产企业,主要涵盖ZDY、ZYW、CMS等多个系列品牌的多种钻探装备,满足多种应用场景需要^[1-2]。在常规钻探装备开发基础上,结合国家“机械化减人、自动化换人、智能化无人”的整体目标,相关企业开展了多种新型钻探装备的研发工作。

2.1 电液控制自动化钻机

随着国家对煤矿智能化发展的重视程度日益提升,对煤矿井下钻探装备的发展提出了更高的要求,自动化、智能化成为当前煤矿井下钻探装备发展的重要方

向。自“十一五”以来,围绕煤矿井下钻探装备智能化的发展目标,重庆研究院和西安研究院依托国家科技部和企业技术创新项目,先后开展了基于防爆电液控制的远控自动化钻机的研究工作,开发了远距离电液控制系统、钻机远程监控系统、近水平钻工机械化自动装卸系统等关键技术,取得了一定成效,但仍有很多核心关键技术亟待解决,钻机的自动化和智能化水平,以及现场工艺适应性还有待进一步提升^[3-5]。

2015年以来,西安研究院围绕煤矿井下自动化钻机的大倾角施工、全自动装卸钻杆、程序控制自动钻进、数据实时监测、故障诊断预警等典型需求,开展了煤矿井下智能化钻机的研发。通过持续公关和自主创新,实现了煤矿井下电液控制钻机的远程无线操控、大角度钻杆自动装卸、设备状态自动监测与记录、故障智能诊断和预警等多项技术突破,成功研制了井下智能化钻机(见图2)。该钻机集主机、泵站、操纵台、遥控器、防爆控制系统、数据采集与检测系统于一体,具有钻进状态实时监测、钻进过程自动控制、自动装卸钻杆、故障智能诊断、远程数据传输等功能^[6]。通过现场工业性试验全面验证了钻机本体和控制系统的各项性能指标,可以实现50 m范围内的遥控控制,单次自动装卸钻杆时间 <45 s,单根钻杆自动钻进施工时间 <55 s。该钻机可通过遥控器实现一键全自动施工和一键自动提钻卸杆,通过全自动钻进功能,可以有效提高钻进施工效率,同时降低劳动强度;基于智能故障诊断技术应用,可以解决钻进参数异常情况下的预警提示,避免事故发生;通过防爆控制系统可实现钻机工作数据的实时远程传输;同时采用遥控和液控双操纵台冗余设计思想,实现了钻机操控的双保险。

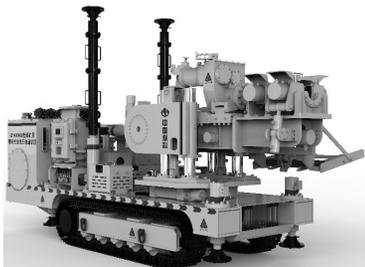


图2 煤矿井下智能化钻机

2018年以来,以西安研究院和重庆研究院为代表的科研企业依托国家重点研发计划,开展了瓦斯抽采钻孔机器人的研发。围绕智能化钻探的多项关键问题

开展了持续公关,重点围绕大容量固定式钻杆装卸系统,自适应加卸钻杆技术,开孔位姿自动调节、钻孔参数智能设计、钻进工况智能感知、钻进过程智能控制、装备自主导航与定位等方面开展研究工作,为实现瓦斯抽采钻孔、完孔作业的自动化提供装备保障,使煤矿井下装备从自动化向智能化的发展更近了一步^[7]。

2.2 大功率自动化定向钻进装备

2018年以来,基于“十二五”国家科技重大专项开展的中硬煤层大功率定向钻进装备的研究成果,西安研究院在系列化大功率定向钻进装备开发的基础上,围绕复杂顶板高位大直径定向钻进的实际需求,重点从大通孔动力头、长行程新型给进装置、钻杆自动装卸机械手、模块化钻杆仓、新型电液控制系统、大流量闭式液压系统、套管自动下放技术等方面进行重点攻关,研制了输出转矩23000 N·m的自动化定向钻机和输出流量1000 L/min、输出压力16 MPa的大流量泥浆泵车,形成了大功率自动化定向钻进成套装备,可以实现 $\varnothing 200$ mm复杂顶板一次成孔钻进施工需要,为“以孔代巷”施工提供了装备保障^[8-11]。

“十三五”期间,西安研究院围绕国家科技重大专项,开展了“煤矿井下智能化钻探装备及高效快速钻进技术”的研究工作,在“十一五”和“十二五”课题研究成果的基础上,开发了煤矿井下防爆智能化定向钻机、防爆地质导向随钻测量系统及配套钻进技术、旋转导向钻进系统及配套钻进技术,形成了一套煤矿区井下智能化钻探装备及高效快速钻进技术,可以实现煤矿井下智能高效快速钻进,为国内煤矿区井下顺煤层煤层气抽采定向钻孔、采动区及采空区煤层气抽采定向钻孔钻进提供技术与装备支撑。通过防爆电液控制技术、参数实时监测技术、无线遥控技术的应用,重点解决了大功率定向钻进装备机械化、自动化加卸杆问题,提升了钻机运行参数监测的信息化和事故预防处理技术的智能化水平,研制了输出转矩25000 N·m的自动化定向钻机和输出流量800 L/min、输出压力12 MPa的大流量泥浆泵车,形成了煤矿井下防爆智能化大功率定向钻进成套装备(见图3),为旋转导向和地质导向钻进施工提供了可靠装备保障。

2.3 自动化防冲击钻进装备

煤层大直径钻孔卸压是一种冲击地压局部解危方法,通过在煤体中实施卸压钻孔,使各钻孔周围卸压区之间相互连接、贯通,形成弱化带,从而降低煤层的承载能力,使高应力作用下的煤体应力重新分



图3 智能化大功率定向钻机

布,应力峰值位置向煤体深部转移,改善巷道支护区域围岩应力环境,降低了煤岩体的冲击危险性,从而防止冲击地压的发生^[12]。

2017年,西安研究院依托国家重点研发计划项目,开展了“煤帮静载荷大直径钻孔卸载防冲技术与自动化装备”的研究工作。开发了钻机遥控智能技术与平台、大螺旋钻杆自动装卸系统、钻机工况识别系统、智能钻进控制系统、防爆电液控制系统、远程信号传输与控制系统等研究工作;研制了一次成孔直径300 mm的超大扭矩钻进技术装备(见图4),直径300 mm高强度钻头与异形钻杆。



图4 煤帮大直径防冲自动化钻机

该钻机采用炮塔式结构,主机方位角调节范围大,适用于煤巷两帮大直径钻孔施工,输出转矩20000 N·m,可通过机械手实现中间自动装卸260 mm大直径螺旋钻杆,由机械手和钻杆仓组成的自动装卸钻杆系统可以成不同钻孔倾角的钻杆自动装卸功能,钻机采用电、液双控操作模式,同时还具备800 m远控功能,可采用全遥控操作钻进施工,或者通过液控操纵台实现钻机操作,也可通过视频实时监控实现远控操作钻进施工,提高了钻机操作的安全性,为冲击地压条件下煤帮大直径卸压钻孔施工提供了高效自动化钻进装备保障。

3 煤矿智能化钻探装备发展展望

随着国家加大煤矿企业创新驱动发展战略实施的力度,智能化煤矿建设将成为煤矿企业转型升级的必由之路。作为煤矿勘探与安全领域的核心装备,煤矿

井下坑道钻探装备也必将向着智能化的方向快速发展。结合当前技术发展现状,以及受限于防爆类元件的制约,煤矿井下钻探装备从全液压控制到电液智能化控制的发展不可能一蹴而就,将会采取分步实施的方式,加快推进其产品的智能化水平。

(1)结合防爆控制技术、数据采集与通信技术、远程无线遥控技术的研究,完成从全液压钻机到电液控制自动化钻机的发展,实现有人值守情况下的程序控制自动化钻进、数据实时监测与远程传输、基本故障诊断预警等功能,满足自动化减人的初步需要。

(2)重点开展智能感知技术、钻进工况识别技术、钻探专家大数据系统等关键技术的研究,完成从程序控制自动化钻机到智能化钻机的发展,实现钻进工况智能感知、钻进参数自适应调节,钻机故障智能诊断等功能,满足1人值守可以控制多台钻机施工的需要。

(3)重点开展地层智能识别技术、自主移机导航技术、自主决策钻进技术等关键技术的研究,完成从智能化钻机到钻孔机器人的发展,实现基于地层参数自主设计孔位和钻进参数、自主移机和定位开孔、自主完成钻孔施工和钻进参数实时优化调整等功能,满足无人值守条件下的智能化钻探施工需要。

参考文献:

- [1] 石智军,李泉新.煤矿区钻探装备新进展与展望[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):150-153,169.
- [2] 石智军,姚克,田宏亮,等.煤矿井下随钻测量定向钻进技术与装备现状及展望[J].煤炭科学技术,2019,47(5):22-28.
- [3] 王国法,刘峰,孟祥军,等.煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J].煤炭科学技术,2019,47(8):1-36.
- [4] 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.
- [5] 方鹏,姚克,王松,等.煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统研制[J].煤炭科学技术,2019,47(12):124-130.
- [6] 张锐,姚克,方鹏,等.煤矿井下自动化钻机研发关键技术[J].煤炭科学技术,2019,47(5):59-63.
- [7] 王清峰,陈航.瓦斯抽采智能化钻探技术及装备的发展与展望[J].工矿自动化,2018,44(11):18-24.
- [8] 姚克.ZDY12000LD大功率定向钻机装备研发及应用[J].煤田地质与勘探,2016,44(6):164-168.
- [9] 方鹏,姚克,邵俊杰,等.履带式中深孔定向钻进装备设计关键技术研究[J].煤炭科学技术,2018,46(4):71-75,87.
- [10] 方鹏.15000 N·m大功率定向钻机关键技术研究[J].煤田地质与勘探,2019,47(2):7-12.
- [11] 姚克,张占强,李栋,等.煤矿井下钻探用系列泥浆泵车研制[J].煤田地质与勘探,2016,44(4):153-156.
- [12] 齐庆新,李一哲,赵善坤,等.我国煤矿冲击地压发展70年:理论与技术体系的建立与思考[J].煤炭科学技术,2019,47(9):1-40.