

防突防冲全自动智能钻车的研制与应用

田季英 谷云龙 宋建锋 张世浩

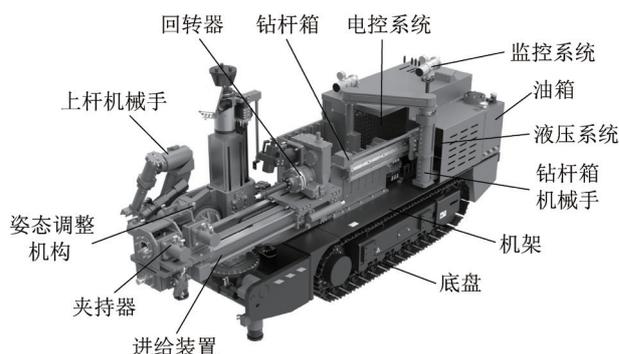
国家发展改革委、国家能源局在2016年12月联合发布了《煤矿工业发展“十三五”规划》，指出突破煤炭地质保障、煤炭智能钻探等关键技术，需提高煤机装备数字化控制、自动化生产和远程操作能力。国家矿山安全监察局在2019年1月发布的《煤矿机器人重点研发目录》中将防突钻孔机器人作为推进煤炭工业高质量发展，推进煤矿安全发展的重点研发内容。提高煤矿钻探装备的自动化水平，保障煤矿安全生产已成为行业发展共识。

防突防冲全自动智能钻车主要用于冲击地压、煤与瓦斯突出的防治，根据现场采集的视频、音频信息可实现远距离操控，钻孔时只需按下启动键，然后通过程序控制钻机动作，钻机自动钻进及退钻。防突防冲全自动智能钻车的关键技术包括：人机分离远程遥控技术、自动装卸钻杆技术、自适应钻进技术、反转防卡钻技术。

常规钻车施工问题

钻车施工过程中存在着一些制约煤矿安全高效生产的问题，主要包括：

- 1) 复杂地质下成孔性差、塌孔严重，无法获得孔底情况，卡钻、丢钻频繁，打钻效率低。
- 2) 人工拆装钻杆，随车打钻需配备3~5人，劳动强度大、耗时较长。
- 3) 工作环境恶劣、粉尘大，易发生突出事故，工作环境危险。



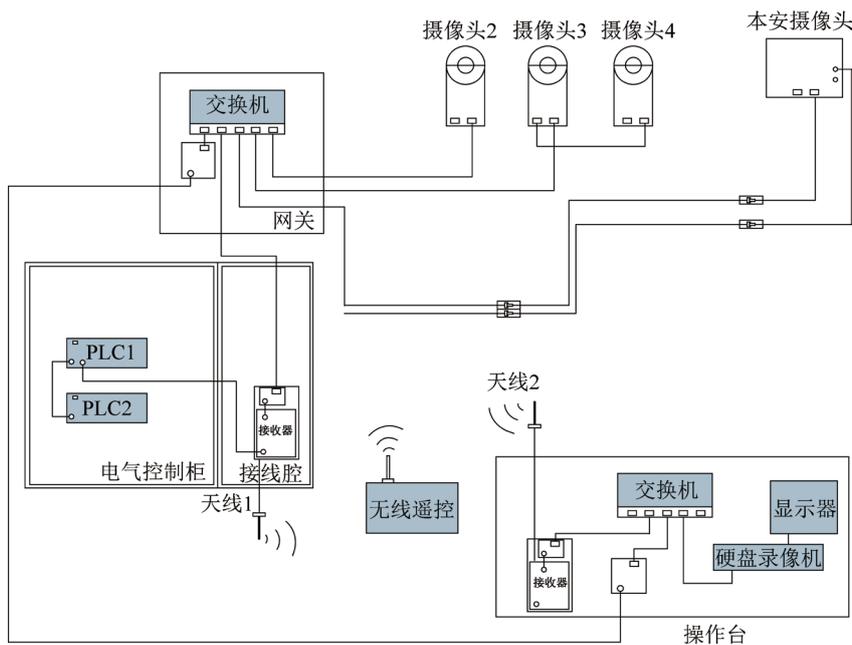
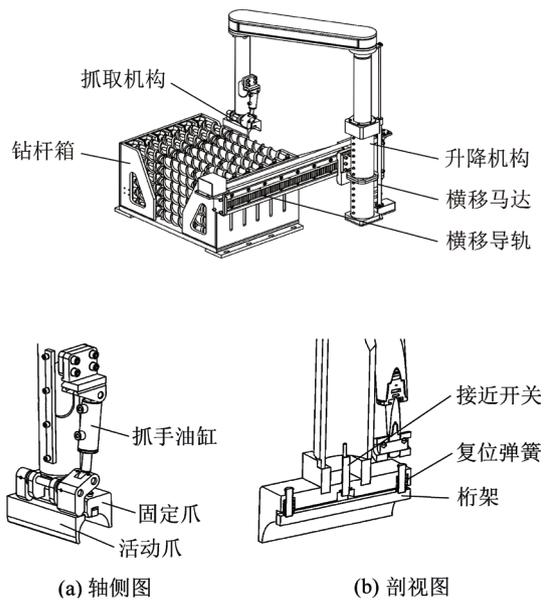
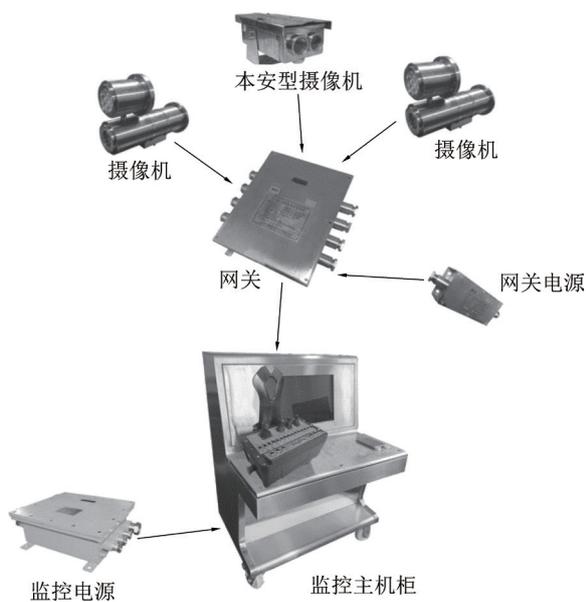
1 图1 钻车整机结构组成
2 图2 远程控制台及遥控器

防突防冲全自动智能钻车关键技术

防突防冲全自动智能钻车由底盘、机架、钻杆箱、油箱、钻杆箱机械手、回转器、夹持器、上杆机械手、姿态调整机构、电控系统、液压系统、监控系统组成（图1），各部件通过螺栓和液压胶管连接。远程控制台及遥控器如图2所示。

远程遥控技术

冲击地压、煤与瓦斯突出事故影响因素多且复杂，远程遥控技术实现了人机分离远程操作，可有



	5
3	6
	4

图3 视频监控组成

图4 视频监控系统

图5 钻杆箱结构

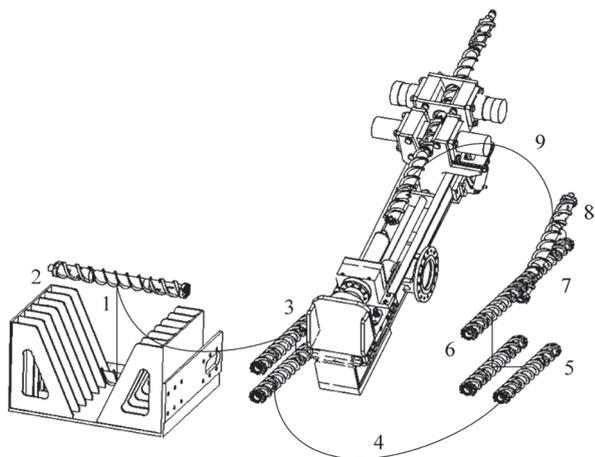
图6 抓取机构

效保障人员安全。

监控部分主要由电源箱、监控主机柜、网关、摄像头组成(图3)。监控主机柜由电源箱配合放在控制室,负责显示和存储记录的画面,通过网线与钻车现场网关连接,网关处接入4个摄像头,实时监控现场画面,并传输至控制室显示和储存(图4),操作人员根据画面显示内容使用遥控器对钻车进行操控。

自动装卸钻杆技术

防突防冲全自动智能钻车通过机械手、钻杆箱、回转器、夹持器、进给装置的配合,实现了钻杆的加接与拆卸,相比常规钻机,有效降低了钻机操作者的劳动强度。自动装卸钻杆技术是实现远距离遥控操作、一键自动钻孔的基础,为此,研制了车载式钻杆箱及钻杆箱机械手,可放置长度30 m的钻杆并实现钻杆的自动拆卸功能。钻杆箱机械手由



1—提升；2—旋转；3—下降；4—旋转；5—推送；
6—提升；7—推送；8—调角；9—旋转

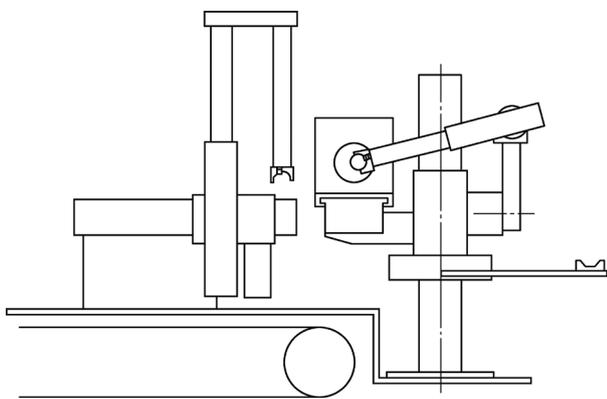


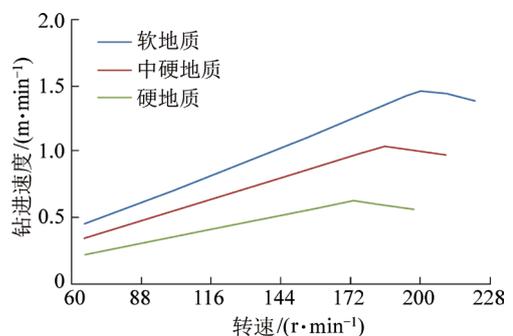
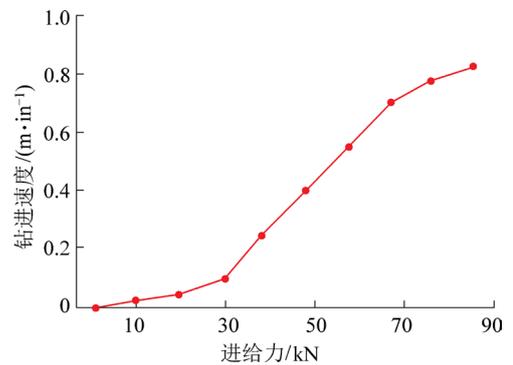
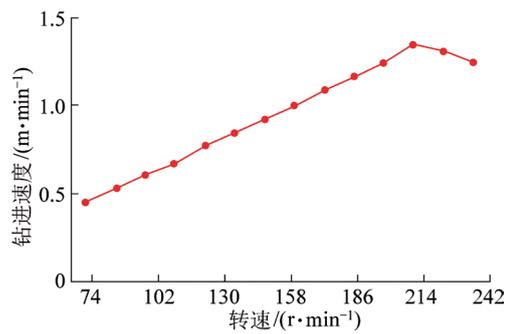
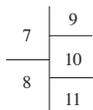
图7 上杆轨迹

图8 油缸回转动作示意

图9 钻进速度和转速的关系

图10 钻进速度和进给力的关系

图11 不同硬度下钻进速度和转速关系



抓取机构、横移导轨、升降机构、横移马达、钻杆箱组成(图5), 抓取机构由活动爪、抓手油缸、复位弹簧、接近开关、固定爪、桁架组成(图6)。

钻杆箱机械手依据自动巡航控制理论可实现任意位置取放钻杆。启动巡航功能后, 横移马达开始运动, 通过读取横移位移开关信号判断是否到达每列钻杆位置, 若达到则抓手机构向下移动, 移动过程中, 当桁架碰到钻杆后, 压缩弹簧继续向下移动, 直至位置开关检测到桁架到位的信号自动停止运动, 此时抓手油缸推动活动爪抓取钻杆。由于机械加工及装配误差不可避免, 且螺旋钻杆不同于外

圆的地质钻杆, 在螺旋钻杆罗列的过程中, 有螺旋带交错交叉的情况, 导致升降位移开关检测到的每根钻杆的竖直坐标误差较大(最大误差不超过钻杆直径), 如果仅靠检测到的坐标反馈抓取钻杆, 抓取失败的概率较大。

钻杆由钻杆箱运动至导轨处, 轨迹主要分为以下9个阶段(图7):

1) 提升。钻杆箱机械手伸缩臂和摆动臂配合执行伸缩动作, 将钻杆从钻杆箱内取出。

2) 旋转。钻杆箱机械手执行平移动作, 将钻杆送至托板上方。

3) 下降。钻杆箱机械手执行伸缩动作, 将钻杆放入回转托板。

4) 旋转。回转托板回转马达执行回转动作, 将钻杆与主机水平角度调至平行状态。

5) 推送。回转托板推送油缸执行推送动作, 将钻杆移至上杆机械手正下方。

6) 提升。上杆机械手伸缩臂执行伸缩动作, 将钻杆从托板内取出。

7) 推送。上杆机械手丝杠机构执行推送动作, 将钻杆调至与回转器和夹持器两端平齐。

8) 调角。上杆机械手回转减速器执行回转动作, 将钻杆调至与孔内钻杆平行。

9) 旋转。上杆机械手摆动油缸执行回转动作, 将钻杆放入夹持器, 夹持器夹紧后, 机械手复位(图8)。

自适应钻进技术

常规钻车的钻进控制主要由人工手动控制, 依赖操作人员的工作经验。不恰当的回转速度和进给力导致钻杆别杆、卡钻、断杆, 甚至导致设备损坏, 大幅影响钻探效率。自适应钻进控制技术研究钻车在煤岩体内高效钻进的一套控制系统, 其指标为钻车单位时间内在煤岩体中钻进的深度, 即钻进速度。钻车钻进过程的执行机构主要由推进机构和回转机构组成, 推进机构通过液压缸为钻机提供破岩的轴向推进力, 控制钻车的钻进速度, 回转机构通过回转马达系统, 实现岩石的旋转切削, 二者协调配合, 实现岩石的破碎和有效钻进。钻车钻进过程中钻头在进给油缸推力的作用下侵入岩石, 并在液压马达回转力矩的作用下破碎岩石。

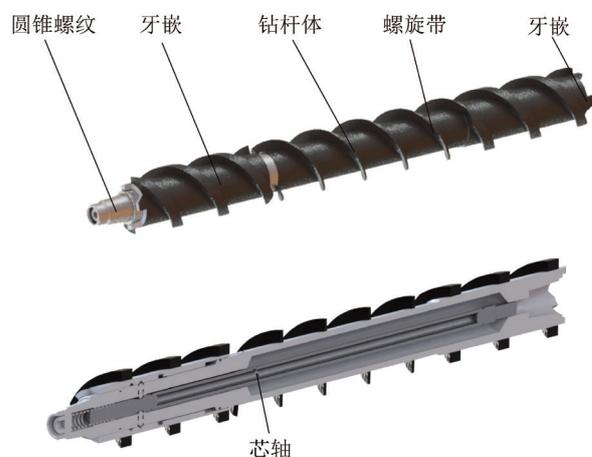
试验结果表明, 针对不同硬度的介质钻车钻进过程中有着不同的最优转速。理论上来说, 钻车转速越快则钻进速度越快, 但当钻车转速超过最优转速时, 随着钻车转速增大其钻进速度反而减小。分析认为当钻车转速超过一定界限时, 由于之前切削下来的岩屑尚未排出钻孔而造成重复破碎, 导致转速下降, 钻进速度与转速的关系如图9所示。

在介质硬度和转速恒定的条件下, 测试进给力与钻进速度的关系如图10所示。在钻进过程中, 钻头受轴向压力(进给力)和回转力的作用, 切削齿在压入、剪切岩石时因磨损变钝损坏而影响钻进速度。随着进给力的增大, 钻进速度会不断增大, 钻头磨损加速, 影响钻进速度。

多次测试发现, 钻车的最优转速与岩石硬度有关, 不同硬度下钻进速度和转速关系如图11所示。以岩石的硬度为基准来确定钻车的转速和推进力, 若岩层硬度较高, 则需降低钻进转速, 否则钻头将严重磨损, 不利于钻头的长期使用; 若岩层硬度较低, 则需提高钻进转速, 以提高钻车的钻进速度。

反转防卡钻技术

煤矿井下自动钻孔施工所使用的钻杆多为圆锥螺纹连接, 仅满足单向旋扭, 而在实际钻孔过程中, 受复杂地质构造影响极易出现塌孔现象, 进而引发卡钻、抱钻事故, 因现用螺纹连接式钻杆无法实现反转, 其解卡能力较弱。为解决该问题, 近年来相继开发了2种可满足正反转操作的钻杆结构, 以提高钻杆的解卡能力, 一种是采用三棱、六方等多面体形式的柱与孔进行插接对接, 以传递正反转矩; 另一种是用键销或螺钉进行轴向定位连接, 以



12 图12 防卡钻钻具的整体结构

13 图13 芯轴示意

传递轴向载荷。实际应用情况表明上述2种结构的正反转钻杆，多数情况下连接头强度低、性能不稳定，且需要人工现场辅助拆卸，无法利用钻车进行机械自动拆卸，作业效率低。

基于上述分析，对防突防冲钻车的钻具进行研究，实现了钻杆正反转和自动拆卸的功能。防卡钻钻具创新采用圆锥螺纹+牙嵌，内部增设锁定与解锁芯轴，整体机构如图12所示，在特殊主动轴作用下，实现钻杆正反转，自动装卸钻杆，减少了人工辅助拆卸装配的环节。

防卡钻反转钻杆主要由钻杆体、螺旋带、牙嵌、芯轴等组成，芯轴如图13所示。钻杆公头端牙嵌套可在前端钻杆固定位置上滑动，相邻钻杆牙嵌的啮合和分离动作由夹持器和动力头相配合执行。钻进过程中依靠回转器和夹持器进行相向移动、牙嵌啮合，啮合后相邻钻杆互为整体，钻杆即可在孔内实现反转。起钻过程依靠回转器和夹持器反向进行分离，当牙嵌分离后，相邻钻杆即可反转脱开，进行卸钻动作。该结构可有效实现钻车自动拆卸和反转连接，性能可靠，同时钻进过程通过对采集的压力、转速及位移等参数判断，利用自适应钻孔机制钻车进行旋转洗孔、退钻等动作，可以实现反转功能，大幅减少了钻进过程中地压导致的孔径缩小抱死钻头、钻杆现象。

防卡牙嵌在钻车反向转动时须承受设备的最大转矩，并且在钻进过程中伴随冲击地压的突然释放，冲力转矩高达3倍以上的钻车转矩，牙嵌牙形和齿数的选择对于结构受限的钻杆来说尤为重要。牙嵌牙形包括矩形、梯形、锯齿形、三角形和螺旋形，经过试验对比研究后选用锯齿形牙嵌，如图14所示，该牙嵌容易结合、强度高、可传递较大转矩。

应用案例分析

自2020年11月至今，防突防冲全自动智能钻车已成功在新巨龙煤矿、济宁七五煤矿、济宁运河煤矿等煤矿推广应用。钻车施工方式为左右侧帮交替钻孔施工，钻孔位置距巷道底部高度1.0~1.5 m，

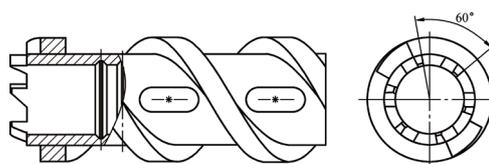


图14 活动牙嵌

钻孔间距1~3 m，钻孔角度 $-25^{\circ} \sim +25^{\circ}$ ，钻孔深度25~30 m，钻孔直径150 mm，自动钻进速度为1 m/min，自动退钻速度0.75 m/min，钻孔姿态调整时间10~15 min，1个班（6 h）可施工4~6个钻孔。与常规钻车相比，打钻效率提高了20%~30%，每班减员1~2人。钻车可远程遥控操作、远程音频视频同步传输、人机分离，提高了作业安全性；钻车具备自动装卸钻杆、一键钻孔功能，操作简单；使用螺旋钻杆配套防塌孔钻头自排粉干式打钻，自适应钻进，实现了正反转，大幅降低了卡钻概率。自2020年11月开始使用钻车以来，至今无丢钻事故发生，各个煤矿累计打钻深度均已超过10 000 m，钻车完全能满足矿方需求。

结语

防突防冲全自动智能钻车包括人机分离远程遥控、自动装卸钻杆、自适应钻进、反转防卡钻4大关键技术。实际应用效果表明，钻车满足防冲远程智能解围的相关施工工艺要求，但部分煤矿提出了智能钻车需要增加随钻测量系统或定向钻孔功能的要求，防突防冲全自动智能钻车的研发与应用对提高钻探装备的智能化水平、保障煤矿安全生产具有重要作用。智能钻车下一步将在现有关键技术和功能的基础上，根据煤矿生产实际需求，增加随钻测量系统或定向钻孔功能。

■ 责任编辑：李金松

作者简介：

第一作者：田季英，工程师，硕士，从事煤矿井下钻探装备研究工作。E-mail: jikai2011@126.com

作者单位：冀凯河北机电科技有限公司