

文章编号:1671-251X(2023)S1-0138-04

# 矿用自动施工钻机研究及应用

丁魏<sup>1</sup>, 代鹰<sup>1</sup>, 廖志伟<sup>2</sup>

- (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. 国家能源集团神东煤炭集团有限责任公司 布尔台煤矿, 内蒙古 鄂尔多斯 017200)

**摘要:**针对现阶段常规钻机施工作业中,人工接卸钻杆劳动强度高,大角度、高孔位施工时接卸钻杆困难及施工过程中可能出现瓦斯突出等现象,研究开发了一种基于 PLC 控制系统的矿用自动施工钻机。详细介绍了钻机的参数和整体结构,分析了接卸扣时因转速与推进速度不匹配导致扣型磨损问题,并研究了接卸扣自适应技术。分析了主机反转扭矩不足的问题,并研究了反转高压卸扣技术。针对钻机需要拆卸运输的问题,进行了主机收回运输设计。现场应用表明:该矿用自动施工钻机具有整体运输方便的优点,启动自动施工后无需人员接卸钻杆即可完成施工,具有可靠性强、稳定性高的特点。

**关键词:**自动钻机;自适应;高压卸扣;整体运输

中图分类号:TD421.5 文献标志码:A

## Research and application of automatic construction drill for coal mine

DING Wei<sup>1</sup>, DAI Ying<sup>1</sup>, LIAO Zhiwei<sup>2</sup>

- (1. CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Shenmu 719315, China;  
2. Buertai Coal Mine, CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Ordos 017200, China)

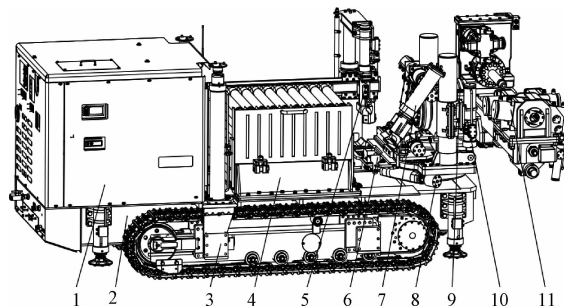
## 0 引言

我国拥有大量的松软煤层储量,约占煤炭产量的40%<sup>[1]</sup>。然而,松软煤层的强度较低,瓦斯解吸速度较快,瓦斯含量较高,因此防治瓦斯是煤矿安全工作的重要组成部分<sup>[2]</sup>。目前,钻孔抽采瓦斯是治理瓦斯的一种主要手段<sup>[3]</sup>。现阶段煤矿钻孔施工主要采用常规坑道钻机,施工时需要人工加卸钻杆,劳动强度大;在大角度、高孔位施工时加卸钻杆困难;接卸扣操作依靠个人经验,使用油缸浮动反转卸扣,导致扣型磨损较大;卸扣时常出现扣不松开的现象;施工过程中可能会出现瓦斯突出等问题,存在安全隐患<sup>[4]</sup>。为了解决上述常规钻机施工问题,本文设计了一种矿用自动施工钻机,并对该钻机的整体结构、设计要点、施工动作流程进行了详细阐述。自动施工钻机可实现自动加卸钻杆,减少劳动强度;通过自适应技术实现接卸扣时的匹配,避免了扣型磨损;采用高压卸扣技术,解决卸扣时扣不松开的问题。

## 1 矿用自动施工钻机整体结构及参数

矿用自动施工钻机整体结构(施工姿态)主要由

电液控制部分、车体、履带、钻杆库、钻杆库抓手、传递架、上杆抓手、水平旋转器、提升装置、俯仰调角器、主机组成,如图1所示。钻机技术参数见表1。



1—电液控制部分;2—车体;3—履带;4—钻杆库;5—钻杆库抓手;  
6—传递架;7—上杆抓手;8—水平旋转器;9—提升装置;  
10—俯仰调角器;11—主机。

图1 矿用自动施工钻机整体结构

## 2 关键技术研究

在矿用自动施工钻机关键技术研究,钻机通过主机接卸扣自适应技术可自动实现扣子的匹配接扣和卸扣,从而减少扣型磨损的程度,提高了钻机的使用寿命<sup>[5-6]</sup>。钻机通过反转自动高压卸扣技术提高卸扣时的压力和卸扣时反转的大扭矩,更加高效

收稿日期:2023-06-26;编辑:郑海霞。

作者简介:丁魏(1982—),男,陕西绥德人,工程师,硕士,主要从事矿井采掘工程设计与管理、智能化采掘技术装备研究与应用等方面的工作,

表 1 钻机主要技术参数

| 项目                          | 参数          |
|-----------------------------|-------------|
| 额定转矩/(N·m)                  | 4 600~1 300 |
| 额定转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 60~210      |
| 推进力/kN                      | 123         |
| 起拔力/kN                      | 123         |
| 钻孔倾角/(°)                    | -60~+90     |
| 钻孔水平角度/(°)                  | ±90         |
| 钻杆直径/mm                     | 63.5,70     |
| 钻孔直径/mm                     | 89,94,113   |
| 钻杆容量/根                      | 100         |
| 电动机功率/kW                    | 55          |

地完成卸扣操作。钻机通过主机收回运输设计可在不拆装的情况下进行整机运输,提高钻机的运输效率和使用便利性。将这 3 项技术结合,可使钻机实现智能化、自动化的施工操作,提高施工效率和安全性,具有较高的实用价值。

2.1 接卸扣自适应技术

在自动施工钻机中,接卸扣是一个非常关键的环节。在接卸扣过程中,推进速度和转速的匹配比值的准确性对接卸扣的质量和扣型的磨损程度有着非常重要的影响<sup>[7]</sup>。然而,在实际工况中,推进速度和转速会受到诸如油温等环境因素的干扰而发生变化,从而破坏两者之间的匹配关系。为了解决这个问题并减少对扣型的磨损,需要确保推进速度和转速之间的匹配关系始终保持不变。

在回转器主轴后方安装转速传感器,可对主机的转速进行实时监测。回转器还与位移传感器相连,利用 PLC 中计时器模块计算出单位时间内主机的位移,从而计算出主机推进速度。在这个基础上,通过接卸扣自适应技术实现推进速度和转速的比值恒定。具体来说,接卸扣自适应技术通过对转速和推进速度的控制,使它们始终保持一个恒定的比值,以确保钻机在接卸扣过程中的稳定性和高精度。接卸扣自适应技术的原理如图 2 所示,其中, $R$  为主机转速, $P$  为扣型螺距, $X_1$ 、 $X_2$  为主机两时刻实时位移, $\Delta t$  为  $X_1-X_2$  的间隔时间。PLC 控制箱接收主机传感器的实时参数,利用 PLC 计算模块将参数转化为理论推进速度和实时推进速度。将两者进行比较,根据比较结果传递流量增减信号给推进控制阀片,进而改变推进速度向理论速度靠拢,减少接卸扣时扣型磨损,增加输出轴、钻杆使用寿命。

通过以上措施,可有效提高接卸扣的质量,减少对扣型的磨损程度,从而提高自动施工钻机的使用

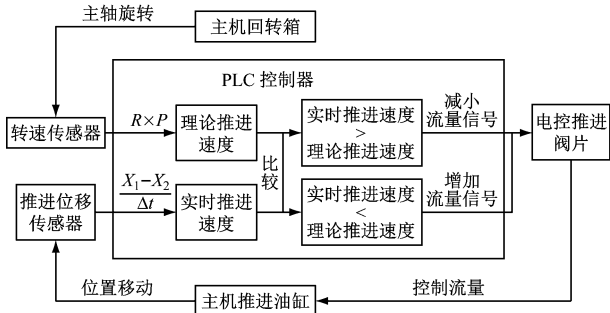


图 2 接卸扣自适应原理

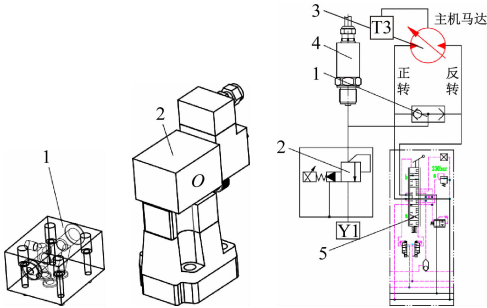
寿命和工作效率。

2.2 反转自动高压卸扣

在自动施工钻机中,由于反转卸扣具有高效率 and 易操作性的优点<sup>[8]</sup>,其已成为最优的卸扣方式。然而,在主机接扣完全拧紧的瞬间,主轴会瞬间停止,这样会产生惯性,从而产生瞬时的高扭矩。当马达停止信号反馈至液压系统停止供油时,也会有一定时间间隔,从而产生瞬间高压<sup>[9]</sup>。这 2 种现象都会导致锥螺纹连接更加紧固。在实际施工过程中,有时会出现主机反转卸扣时扭矩不足以卸下扣子的情况,即卸扣未完成,不能满足卸扣流程停止条件。这种情况下,钻机会执行停机指令,并上报故障代码,等待调试,这会严重影响施工进度。

为解决卸扣问题,提高施工稳定性,反转卸扣扭矩需高于正转接扣扭矩。马达油路添加压力控制阀及梭阀,正反转压力单独调节,达到反转扭矩高于正转扭矩的目的。

反转自动高压卸扣结构及原理如图 3 所示。通过对电控比例溢流阀溢流压力的设定实现反转安全压力高于正转安全压力,进而实现马达输出扭矩反转高于正转。马达正转,梭阀右移,电控比例溢流阀和压力变送器与正转接通,通过 PLC 设定正转溢流压力满足打钻要求即可;马达反转,梭阀左移,电控比例溢流阀和压力变送器与反转接通,设定反转溢流压力为卸扣压力(高于正转溢流压力)。通过安全压力的设定,使得卸扣扭矩高于接扣扭矩,确保了卸扣的成功率。



1—梭阀;2—电控比例溢流阀;3—马达;  
4—压力变送器;5—马达供油阀片。

图 3 反转自动高压卸扣结构及原理

### 2.3 主机收回运输设计

相对于常规钻车,自动施工钻车加入了电气设备、上杆机构等自动施工部件,体积明显增加。为满足自动施工需要,主机需要布置前、后夹持器,推进行程大于 1 m,长度大于 2.5 m。受矿井和巷道空间限制,整机运输尺寸无法满足罐笼、单轨吊等设备运输方式,只能将主机拆卸进行分体运输。主机质量大,且液压管路和电缆线盘根错节,每次拆装都耗费大量时间和精力,可能会出现装配错误的问题。

为解决上述问题,设计了主机收回运输状态。运输时只需局部调整,即可将主机收回至车体内,整机运输宽度减少近一半,可实现整体运输。钻杆箱(图 4)为折叠式,施工时侧板直立,通过销轴和背部紧固螺栓固定,放置钻杆时稳定可靠;运输时,松开紧固螺栓,侧板仅靠销轴连接,放平侧板,机械手后移下降,为主机收回腾出空间。在满足联动作业的前提下,主机水平回转中心设计为侧偏式(图 5),进一步减小了主机收回后整机宽度。钻机整体运输(图 6)极大地节约了运输时间和人力物力,减少了设备二次装配损坏。

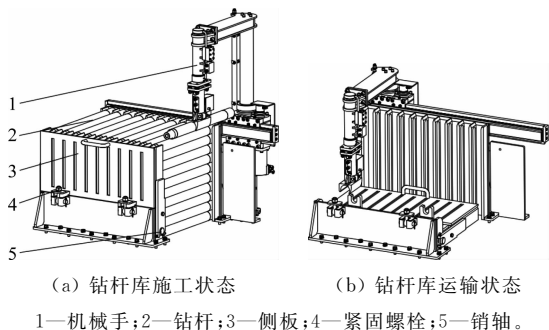


图 4 钻杆箱结构

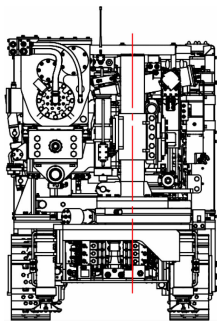


图 5 主机水平回转中心侧偏式

## 3 自动施工钻机施工流程

自动施工机械主要由钻杆库、钻杆库机械手、回转托板、上杆机械手、主机等组成,如图 7 所示。自动加杆流程为钻杆库取杆,回转托板送杆,上杆机械手上杆,主机接杆。自动卸钻流程为主机卸杆,上杆机械手收杆,回转托板收杆,钻杆库收杆。自动加杆流程与自动卸钻流程逻辑相同,顺序相反。下文以

自动加杆为例进行介绍。

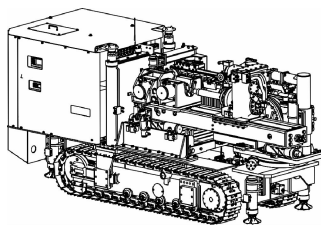
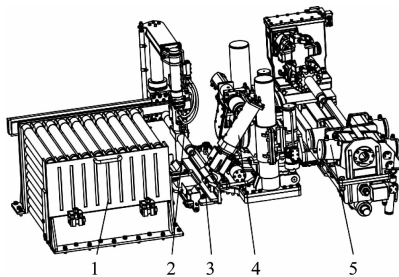


图 6 整机运输状态

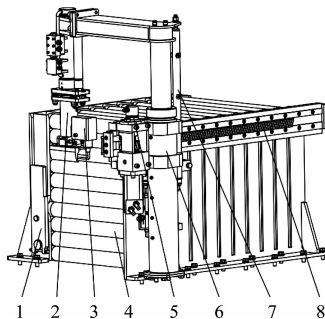


1—钻杆库;2—钻杆库机械手;3—回转托板;  
4—上杆机械手;5—主机。

图 7 自动施工机械结构

### 3.1 钻杆库取杆流程

钻杆库结构如图 8 所示。利用横移、纵移传感器设置钻杆库内钻杆的相对坐标,根据坐标进行取杆和放杆,通过巡检开关监控机械手处钻杆有无情况。按照坐标由上到下、由近及远的顺序取杆,放杆顺序与之相反。



1—钻杆库;2—钻杆库机械手;3—巡检开关;4—钻杆;5—横移传感器;6—纵移机械臂;7—纵移传感器;8—横移导轨。

图 8 钻杆库结构

取杆流程:钻杆库机械手移动至钻杆库目标钻杆位置,钻杆库机械手夹紧;钻杆库机械手移动至回转托板取杆位,钻杆库机械手松开,将钻杆放置于托板上;进行循环作业。

### 3.2 回转托板送杆流程

回转托板结构包括钻杆托块、夹正油缸、托板导轨、托板油缸和回转器,如图 9 所示。回转托板取杆位和上杆位均设有位置传感器,确保托板旋转位置达到要求。通过夹正油缸修正钻杆位置。

送杆流程:托板旋转至取杆位,钻杆放入,夹正油缸夹紧;回转托板旋转至上杆位,托板伸出;夹正油缸松开,钻杆取走;托板缩回,托板旋转至取杆位;进行循环作业。

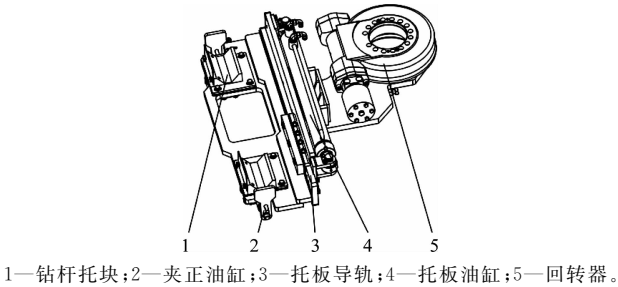


图 9 回转托板结构

3.3 上杆机械手上杆流程

上杆机械手包括马达、上杆臂、位置传感器、回转器、巡检开关、上杆机械手,如图 10 所示。通过编码器和位置传感器可确定上杆机械手俯仰角和翻转位置。

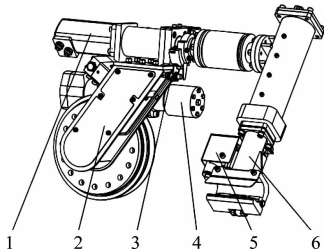


图 10 回转托板结构

上杆流程:机械手伸出,夹紧钻杆;机械手缩回;机械手摆动至主机俯仰角加 10°;机械手上翻至主机侧;机械手伸出;机械手下摆至与主机平行;夹持器夹紧钻杆,机械手张开;机械手缩回;机械手下翻,摆动至上杆手取杆位;进行循环作业。

3.4 主机接杆流程

主机包括翻转夹持器、主机位移传感器、翻转油缸、稳固油缸、后夹持器、导轨、回转输出轴、托盘、回转器、转速传感器,如图 11 所示。主机位移传感器监测主机位置,转速传感器监测主机转速,压力变送器监测主机回转压力和推进力。

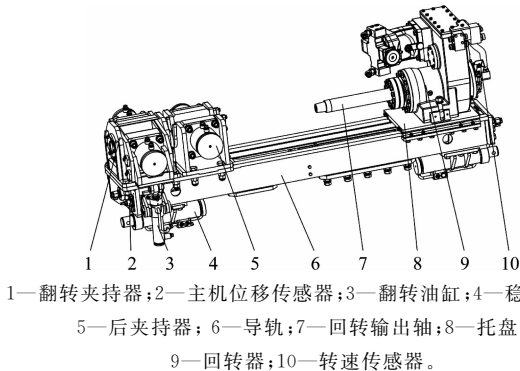


图 11 主机结构

接杆流程:主机打钻至最前端,翻转夹持器夹紧;主机反转卸扣,退回至导轨后端;上杆手上杆,后夹持器夹紧;主机正转推进,输出轴与钻杆接扣;后夹持器松开,主机正转推进钻杆与钻杆接扣;前夹持

器松开,主机正转推进,打钻至导轨最前端;进行重复作业。

4 现场应用

试验地点位于国能神东煤炭集团哈拉沟煤矿。使用矿用自动施工钻机进行施工作业,侧帮施工,倾角为 10°,配备 2 名施工人员,成孔数量为 22 个,成孔平均深度为 112 m,总进尺为 2 464 m。在无线遥控器上设置钻库杆数和预置杆数,启动后即可自动施工作业。施工过程中,钻机整体运行平稳,各部件动作流畅准确,施工员可携带遥控器远距离监控施工,试验效果符合预期。

5 结语

自动施工钻机体积较大,在矿井和巷道空间受限的情况下,其收回运输设计的重要性日益凸显。运输分体化设计可通过拆卸主机来解决钻机在运输和进入矿井时的限制问题,从而实现更便捷、高效的运输方式。同时,在钻机使用过程中,接卸扣质量和卸扣难松开的问题也极大影响钻机工作效率,因此,需要采用先进的技术和设计方案来解决这些问题。自适应技术和反转自动高压技术的引入,可有效提高钻机接卸扣的质量,减少扣型的磨损,从而增强钻机的卸扣能力。这些技术的应用,不仅可提高钻机的性能和工作效率,同时也为钻机自动化技术的发展提供了有益的思路 and 方向。

参考文献:

[1] 刘峰,曹文君,张建明. 持续推进煤矿智能化促进我国煤炭工业高质量发展[J]. 中国煤炭, 2019, 45(12): 32-36.

[2] 于海云,张淑同. 近年我国煤矿瓦斯事故发生规律及防治对策探讨[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(1): 108-110, 114.

[3] 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.

[4] 马斌,董洪波. 煤矿井下坑道钻机电液控制系统的设计[J]. 煤矿机械, 2021, 42(1): 13-15.

[5] 李晓鹏,乔杰,姚亚峰. 矿用钻机换杆装置及其控制系统设计[J]. 工矿自动化, 2017, 43(8): 6-10.

[6] 张始斋. ZYWL 系列履带式自动钻机模块化设计[J]. 煤矿机械, 2020, 41(6): 11-13.

[7] 陈建林,唐敏,吕晋军,等. ZYWL-3200SY 煤矿用全自动钻机的研制与应用[J]. 煤矿机械, 2019, 40(9): 145-147.

[8] 王清峰,陈航. 基于路径规划的大容量钻杆自动输送系统研究[J]. 矿业安全与环保, 2020, 47(1): 1-6.

[9] 肖玉清. 煤矿用全自动钻机的研制与现场试验分析[J]. 煤炭技术, 2017, 36(5): 222-224.