

4-28-2023

Key technology of automatic loading and unloading system for dual-pipe directional drilling rig and its application in soft–fragmentized coal seam

LI Kun

CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an 710077, China; School of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong, NSW 2522, Australia, likun@cctegxian.com

TING Ren

School of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong, NSW 2522, Australia

YAO Yafeng

CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an 710077, China; China Coal Research Institute, Beijing 100013, China

Follow this and additional works at: <https://cge.researchcommons.org/journal>



Part of the [Earth Sciences Commons](#), [Mining Engineering Commons](#), [Oil, Gas, and Energy Commons](#), and the [Sustainability Commons](#)

Recommended Citation

LI Kun, TING Ren, YAO Yafeng, et al. (2023) "Key technology of automatic loading and unloading system for dual-pipe directional drilling rig and its application in soft–fragmentized coal seam," *Coal Geology & Exploration*: Vol. 51: Iss. 4, Article 20.

DOI: 10.12363/issn.1001-1986.22.08.0613

Available at: <https://cge.researchcommons.org/journal/vol51/iss4/20>

This Drilling Engineering is brought to you for free and open access by Coal Geology & Exploration. It has been accepted for inclusion in Coal Geology & Exploration by an authorized editor of Coal Geology & Exploration. For more information, please contact 380940179@qq.com.



移动阅读

李坤, TING Ren, 姚亚峰. 碎软煤层双管定向钻具自动加卸系统关键技术与应用[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(4): 179-186. doi: 10.12363/issn.1001-1986.22.08.0613

LI Kun, TING Ren, YAO Yafeng. Key technology of automatic loading and unloading system for dual-pipe directional drilling rig and its application in soft-fragmentized coal seam[J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(4): 179-186. doi: 10.12363/issn.1001-1986.22.08.0613

碎软煤层双管定向钻具自动加卸系统关键技术与应用

李 坤^{1,2}, TING Ren², 姚亚峰^{1,3}

(1. 中煤科工西安研究院(集团)有限公司, 陕西 西安 710077; 2. 伍伦贡大学 土木矿业与环境学院, 澳大利亚 伍伦贡 2522; 3. 煤炭科学研究总院, 北京 100013)

摘要: 为提高双管定向钻进钻孔施工时钻具加装和拆卸的自动化水平, 提高装卸效率, 开发一种双管自动加卸装置, 实现不同工况下钻具的全自动装卸, 解决双管定向钻进过程中钻杆和套管的同时加装和拆卸的技术难题, 完成装置结构和控制系统的设计, 运用末端柔顺技术, 限制施工过程中装置承受的载荷, 明确控制程序关键边界条件, 制定不同工况下钻具自动装卸施工工艺流程。在安徽淮北矿业祁南煤矿展开工业性试验, 试验顺利完成 4 个钻孔的施工, 共进尺 1 170 m。试验过程中双管自动加卸装置运行平稳, 能够满足不同工况下钻具组合的加装和拆卸需求。将原本需要 2~3 人密切配合才能完成的钻具组合自动装卸工作, 变为依靠程序控制自动完成, 钻杆和套管同时装卸和单独装卸平均效率较人工装卸分别提高了 350% 和 110%, 保证了双管定向钻进综合施工效率, 减少了作业工人数量, 降低了工人劳动强度, 保障了施工安全。试验结果表明: 双管自动加卸装置运行稳定可靠, 施工工艺流程合理, 装置各项性能满足双管定向钻进需求。研究成果为双管定向钻孔施工钻具的自动装卸提供了技术和装备支撑, 为双管定向钻进技术在煤层气开采相关领域的推广应用奠定了基础。

关键词: 碎软煤层; 双管定向钻进技术; 自动装卸; 双动力头钻机; 筛管完孔技术; 煤矿井下
中图分类号: TD402 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1986(2023)04-0179-08

Key technology of automatic loading and unloading system for dual-pipe directional drilling rig and its application in soft-fragmentized coal seam

LI Kun^{1,2}, TING Ren², YAO Yafeng^{1,3}

(1. CCTEG Xi'an Research Institute (Group) Co., Ltd., Xi'an 710077, China; 2. School of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong, NSW 2522, Australia; 3. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: To improve the automatic level and efficiency of loading and unloading of drilling rigs during the construction of dual-pipe directional drilling, an automatic loading and unloading device of dual pipe was developed to realize the fully automatic loading and unloading of drilling rigs under different working conditions and to solve the technical problems of loading and unloading the drill pipes and casing simultaneously during the dual-pipe directional drilling. Meanwhile, the device structure and control system was designed to restrict the load applied to the device during construction with the end-compliant technique. Besides, the key boundary conditions of the control program were clarified, and the process of automatic loading and unloading of drilling rigs under different working conditions was developed. The industrial test was carried out in Qinan Coal Mine of Huaibei Mining Holdings Co., Ltd. in Anhui, with 4 boreholes in a total footage of 1 170 m drilled. During the test, the automatic loading and unloading device of dual-pipe operated smoothly and was able to meet the loading and unloading requirements of drilling rigs under different working conditions. By applying this device, the automatic loading and unloading of drilling rigs, which originally requires the close

收稿日期: 2022-08-08; 修回日期: 2022-12-01

基金项目: 国家科技重大专项任务(2016ZX05045-003-002); 中煤科工集团西安研究院有限公司顶层设计项目(2020XADC01-1-2)

第一作者: 李坤, 1988 年生, 男, 河南商丘人, 博士研究生, 助理研究员, 从事煤矿井下智能钻探技术与装备的研究工作。

E-mail: likun@cctegxian.com

cooperation of 2–3 people, could be done automatically by program control, and the average efficiency of simultaneous and separate loading and unloading of drill pipe and casing increased by 350% and 110% respectively. In addition, the comprehensive construction efficiency of dual-pipe directional drilling was assured, with the number of workers reduced, the labor intensity of workers lowered and the construction safety ensured. The test results show that the automatic loading and unloading device of dual-pipe operates stably and reliably with reasonable construction process and the performances of the device meets the needs of dual-pipe directional drilling. The research results provide technical and equipment support for the automatic loading and unloading of dual-pipe directional drilling rigs and lay the foundation for the popularization and application of dual-pipe directional drilling technology in the relevant fields of CBM mining.

Keywords: soft-fragmentized coal seam; dual-pipe directional drilling technology; automatic loading and unloading; double-power heads drilling rig; borehole completed technology of screen pipe; underground coal mine

我国煤层赋存地质条件复杂,约 50% 以上煤层属于碎软煤层,随着煤炭资源开采向更深部发展,这一比例将会越来越大^[1-2]。碎软煤层由于瓦斯压力大、煤质松软破碎,传统的瓦斯抽采钻孔施工方法存在易塌孔,钻孔深度浅,成孔后筛管安设困难等问题^[3-6]。煤矿井下碎软煤层双管定向钻进施工中,进行滑动定向钻进的同时,套管作为护孔钻具随同钻进,并回转辅助排渣;钻孔施工完成后,可从套管内下入大直径筛管,有效解决碎软煤层顺层定向长钻孔成孔困难,实现成孔后大直径筛管顺利安设^[7-10]。碎软煤层双管定向钻进钻孔施工时,需要完成钻杆和套管的同时加装或拆卸。由于钻杆和套管组成的钻具组合质量接近 40 kg,且施工时两套丝扣存在相互遮挡,人工装卸非常困难,给该技术的推广应用带来了难题。

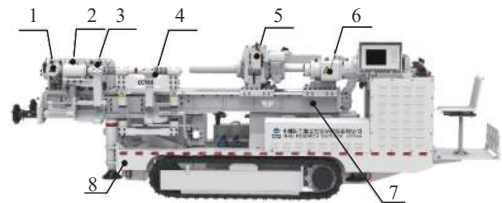
近些年,随着煤矿井下智能钻机的发展,钻具自动装卸技术相关研究已经成为行业热点。ZDY4500LFK 型智能钻机主机集成翻转式机械手,配备大容量补杆杆仓,一次装填能够实现 150 m 钻杆的连续自动装卸^[11-12]。采用基于防爆电液控制技术的液驱机械手实现大直径定向钻杆的自动化装卸^[13]。开发了一种转轮式结构的自动加卸钻杆装置,杆仓可容纳 20 m 钻杆^[14]。将工业机器人应用于坑道钻机自动加杆系统,通过视觉识别技术获取钻杆初始和目标点位置,实现了大容量钻杆的快速装卸^[15-16]。研制的一种 4 段式钻杆自动输送系统解决现有钻杆输送系统能力有限,需要工人在钻进过程中频繁补充钻杆的问题^[17]。自动钻机自动上、下钻杆液压控制系统进行了研究,实现了对钻杆转速和动力头位移的实时控制,动力头位移可根据钻杆转速自适应调节,减少了钻杆自动装卸时丝扣的磨损^[18]。但是,行业内目前针对双管自动加卸技术的研究鲜有报道。

基于对双动力头钻机结构特点和双管定向钻进施工工艺方法的研究,研制一套双管自动加卸装置及配套工艺方法,以期解决钻杆和套管同时加装和拆卸的技术难题,为双管定向钻进技术的推广应用奠定了基础。

1 双动力头定向钻机结构特点及施工工艺

1.1 结构特点

以 ZDY6000-3000LDK 型双动力头定向钻机为例,其结构(图 1)与传统钻机相比有较大不同,主要的特点是钻机由 3 个夹持器和 2 个动力头组成。



1—套管和钻杆夹持器; 2—套管卸扣器; 3—钻杆卸扣器; 4—双管自动加卸装置; 5—套管动力头; 6—钻杆动力头; 7—给进装置; 8—履带车体

图 1 双动力头定向钻机结构

Fig.1 Structure of double-power heads directional drilling rig

3 个夹持器分别为套管和钻杆夹持器、套管卸扣器和钻杆卸扣器。2 个动力头分别为套管动力头和钻杆动力头。套管动力头用于驱动套管(外管)回转,钻杆动力头用于驱动钻杆(内管)回转,套管和钻杆采用独立液压系统驱动,彼此回转互不干扰。

1.2 施工工艺

双管钻进时双动力头定向钻机驱动钻杆和套管同时钻进,其中钻杆连接空气螺杆马达及随钻测量系统进行滑动定向钻进或复合定向钻进,套管作为护孔钻具随同钻进,并回转辅助排渣,钻孔返渣可分别从双管的环空间隙和套管与孔壁间隙返回孔口,孔口和套管动力头后端分别设置集尘装置,对返渣和瓦斯进行收集。

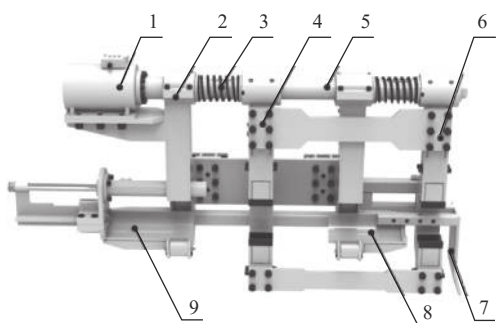
正常施工状态下套管和钻杆同时钻进,空气螺杆马达前端弯角伸出套管负责带动钻柱实现定向钻孔。当发生塌孔或其他原因造成套管随同钻进困难时,可使用套管夹持器夹住孔内套管,单独加装钻杆完成预定孔深钻孔施工。钻孔完成后,先将钻杆、空气螺杆马达和随钻测量系统等相关钻具从套管内提出,再从套管中下入大直径非金属护孔筛管及悬挂装置,最后提出套管,并将护孔筛管留于孔内。

2 双管自动加卸装置关键技术

双管定向钻进施工工艺要求在钻孔正常施工时能够实现同时加装钻杆和套管,筛管跟进困难时能够实现同时拆卸钻杆和套管,并单独加装钻杆;钻孔施工到预定深度,提钻时又需要单独拆卸钻杆或套管。钻进施工工艺较为复杂,双管自动加卸装置也较为复杂。

2.1 结构

双管自动加卸装置安装在钻机给进装置的侧面,其结构如图2所示,主要由摆动油缸、支架、复位弹簧、套管夹持臂、传动轴、钻杆夹持臂、挡板、套管止动板、推杆装置等部分组成。



1—摆动油缸; 2—支架; 3—复位弹簧; 4—套管夹持臂; 5—传动轴; 6—钻杆夹持臂; 7—挡板; 8—套管止动板; 9—推杆装置

图2 双管自动加卸装置结构

Fig.2 Structure of automatic loading and unloading device of dual-pipe

摆动油缸固定在支架的一端,通过联轴器与传动轴相连,传动轴上设置有套管夹持臂和钻杆夹持臂。两夹持臂通过滑键与传动轴相连,在摆动油缸的驱动下可以绕传动轴转动,也可沿传动轴轴向滑动。传动轴通过两组抱瓦固定在支架上,支架和传动轴之间设置有自润滑轴承,用于减小转动时的摩擦力。两夹持臂通过两组横梁固定在一起,夹持臂和支架之间还设置有两组复位弹簧。两组夹持油缸设置在夹持臂端部,带动两组卡瓦夹紧钻杆或套管。支架的一端设置有推杆装置,另外一端设置有挡板,支架底部设置有用于放置套管和钻杆的圆弧形空间,以及方便钻具放入的辅助支撑板^[19]。

2.2 工作原理

双管定向钻进施工加装钻杆作业时,首先,将钻杆放入套管内部,保持丝扣朝向相同,端部平齐,形成一套钻具组合。再将该钻具组合放置在推杆装置和套管止动板之间,丝扣朝向推杆装置一侧。推杆装置中的推杆油缸收回,推动钻杆和套管同时向右运动;直到套管母扣运动到套管止动板处,钻杆母扣与挡板接触时推杆油缸停止动作。此时套管夹持臂卡瓦恰好位于套管中间位置,钻杆母扣也恰好进入钻杆夹持臂内部。

套管夹持臂和钻杆夹持臂分别夹紧套管和钻杆;推杆装置推杆收回到初始位置;摆动油缸通过传动轴驱动两个夹持臂同时旋转,带动套管与钻杆旋转至套管动力头和钻杆动力头前端,并配合套管夹持器、套管卸扣器、钻杆卸扣器、套管动力头和钻杆动力头完成自动加装钻杆和套管作业。

2.3 末端柔顺技术

在双管自动加卸装置工作过程中,动力头上扣和卸扣时,钻杆丝扣间的相互作用力通过卡瓦传递给加卸装置。特别是在发生误操作时,给进油缸提供的给进力也会通过卡瓦传递给加卸装置,这就要求加卸装置具备足够强度。受制于钻机安装空间和装置的结构特点,装置的整体强度无法直接满足要求。因此,如何运用末端柔顺技术,限制施工过程中装置承受的载荷成为装置设计时需要解决的关键问题。

1) 动力头拧卸扣时末端柔顺

当钻具组合被送至两动力头前端,如图3所示,为满足拧卸丝扣时两钻具相对位置的变化需要,并限制沿给进方向丝扣间的相互作用力,动力头前端主动钻杆和主动套管连接新加钻杆和套管丝扣时,需要通过给进油缸内置的位移传感器准确控制动力头给进至两丝扣接触并预先压缩两夹持臂末端复位弹簧。复位弹簧的压缩量需要大于两丝扣从接触到拧紧过程中两钻具相对位置变化的距离。这样在动力头回转拧紧主动钻杆前端丝扣时动力头不需要给进,而是依靠弹簧的弹力自动补偿上扣过程中钻具相对位置的变化。在卸扣时,复位弹簧同样可以被压缩以弥补待卸钻具的位置变化。

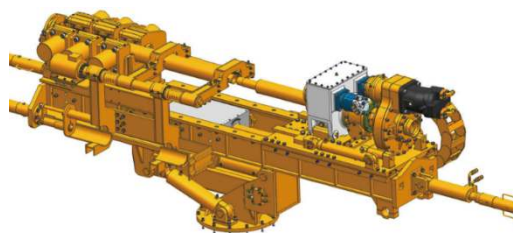


图3 双管自动加卸装置工作姿态

Fig.3 Working posture of automatic loading and unloading device of dual-pipe

2) 给进方向装置末端柔顺

当由于工人操作不熟练或者电控程序异常,复位弹簧被压缩到最大许用压缩量动力头仍给进时,装置在沿钻机给进方向应具有一定的柔性。因此,在设计夹持装置时,需控制夹持力的大小,以保证卡瓦提供给钻具的摩擦力小于两个复位弹簧的最大许用压力。在给进力达到复位弹簧最大许用压力之前,钻具能够在卡瓦内滑动防止夹持臂损坏。

2.4 关键技术参数校核

根据以上的分析,施工过程中夹持臂卡爪既应具有足够的夹持力,以保证复位弹簧被压缩至设定距离时夹持臂和其内部钻具之间不发生打滑,还应在给进力达到复位弹簧最大允许压力之前,钻具能够在卡瓦内滑动,防止夹持臂损坏。因此,需要对复位弹簧刚度和卡爪夹持力大小进行计算。

设计过程中夹持臂的主要技术参数见表 1。

表 1 夹持臂参数
Table 1 Parameters of hold-down champs

主要性能	赋值
复位弹簧刚度 $K/(N \cdot mm^{-1})$	22
弹簧设计压缩量 l_1/mm	45.0
弹簧许用压缩量 l_2/mm	87.5
卡瓦摩擦因数 μ	0.3
夹持油缸缸径 D/mm	25
夹持油缸压力 p/MPa	12

根据施工工艺要求,夹持臂的参数选取应满足以下要求:

$$F_D < F_H < F_M \quad (1)$$

式中: F_D 为弹簧工作在设计压缩量时的弹力; F_H 为卡瓦能提供的最大摩擦力; F_M 为弹簧最大允许压力。

计算可知:

$$\begin{cases} F_D = 2Kl_1 = 1980 \\ F_H = \frac{1}{2}p\pi D^2\mu = 3532.5 \\ F_M = 2Kl_2 = 3850 \end{cases} \quad (2)$$

由式(1)、式(2)可知,夹持臂参数选取满足设计要求。

2.5 控制系统设计

双管自动加卸装置的控制系统是钻机控制系统的重要组成部分,可以分为电控系统和液压控制系统两部分,如图 4、图 5 所示。

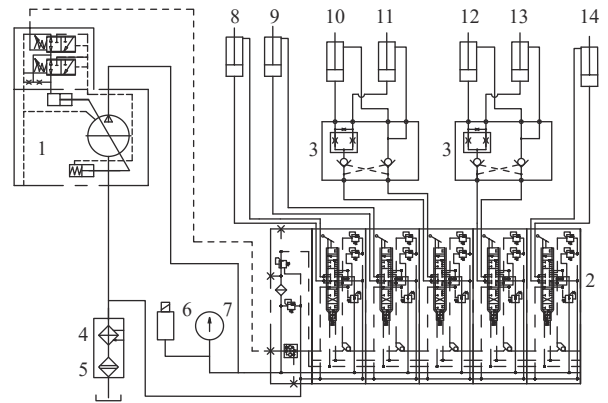


1—遥控器系统; 2—隔爆兼本安型控制器; 3—负载敏感电磁比例多路阀; 4—压力变送器; 5—双管自动加卸装置

图 4 双管自动加卸装置电控系统基本构成

Fig.4 Basic composition of electric control system for automatic loading and unloading device of dual-pipe

电控系统主要由遥控器系统、隔爆兼本安型控制器、负载敏感电磁比例多路阀、压力变送器等几部分组成。施工作业人员通过遥控器系统触发钻杆自动加



1—负载敏感泵; 2—负载敏感电磁比例多路阀; 3—分流集流阀; 4—冷却过滤系统; 5—油箱; 6—压力变送器; 7—压力表; 8—动力头间滑移油缸; 9—推杆油缸; 10、11—套管夹持臂夹持油缸 I、II; 12、13—钻杆夹持臂夹持油缸 I、II; 14—摆动油缸

图 5 双管自动加卸装置液压控制系统

Fig.5 Hydraulic control system for automatic loading and unloading device of dual-pipe

卸程序,隔爆兼本安型控制器根据程序分别控制负载敏感电磁比例多路阀逐联电磁铁通断电,进而控制装置各执行机构顺序动作,完成钻杆自动加卸作业。程序运行过程中,压力变送器可以获得各动作执行过程中的实时压力变化数据,用于判断动作是否执行完毕。压力数据也会通过隔爆兼本安型控制器实时传输并显示在遥控器面板上。

双管自动加卸装置液压控制系统运用了负载敏感控制技术。调节负载敏感电磁比例多路阀电磁铁的电流值可以准确地控制各联流量,进而控制各执行机构的运动速度,且运动速度不受负载变化影响。这给控制程序中增加 PID 控制方法,提高各部件的运行效率,减小机构运动时的压力冲击带来了优势。

为保证两个夹持臂夹紧钻杆和套管时的重复定位精度,两组夹持油缸还集成了分流集流阀。

2.6 末端柔顺验证及控制程序边界条件确定

为验证装置末端柔顺技术的有效性,同时确定在钻杆装卸过程中的关键边界条件,对双管自动加卸装置进行地面调试试验。

1) 末端柔顺技术验证

在夹持臂卡瓦间安装压力传感器,用于记录装置夹紧过程中夹持力随时间的变化情况;在夹持油缸进油口安装压力变送器,用于记录夹持油缸工作压力随时间的变化情况。并通过数据采集板,同时记录两组数值,如图 6 所示。

图 6 中,夹持油缸在设计工作压力 12 MPa 时,实际夹持力为 5 576.20 N,较设计夹持力 5 887 N,偏差 5.28%,响应时间约 0.75 s。

在动力头主动钻杆前端安装一根钻杆,并使用装

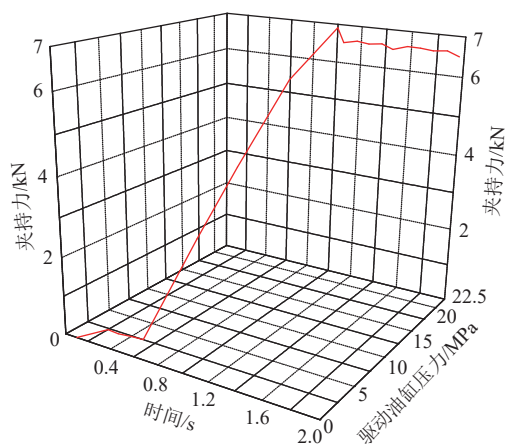


图 6 夹持力和驱动油缸压力随时间的变化情况

Fig.6 Change of clamping force and driving cylinder pressure with time

置夹紧该钻杆，操作动力头缓慢回转，当系统压力升高至 6.20 MPa 时，夹持臂内钻杆沿回转方向发生打滑。操作动力头慢速给进，当系统压力升高至 3.52 MPa 时装置内钻杆沿给进方向发生打滑。整个试验过程中，未发生装置过载，复位弹簧一直工作在允许压缩范围内，压缩量能够满足丝扣装卸时两钻杆位置变化需要。试验证明，装置末端柔顺技术能够有效防止装置过载。

2) 边界条件确定

钻具装卸过程中的边界条件是指控制程序用于判断钻具装卸时各执行命令是否执行完毕的判断条件。边界条件的选取是否合理关系到钻杆自动加卸系统运行的稳定性。

试验过程中记录并分析钻杆动力头和套管动力头在分别拧紧钻杆和套管丝扣时系统压力的变化情况。试验结果表明，钻杆和套管动力头在系统压力 4~5 MPa 时即可与新装钻杆和套管丝扣完全连接；在钻杆和套管丝扣顺利卸开后，两动力头的空载回转压力为 3~4 MPa。

因此，新加装钻具与动力头主动钻具间丝扣连接时系统压力应该大于 5 MPa，并小于 6.20 MPa，以保证丝扣顺利拧紧，并避免钻具在机械臂内打滑。同时，新装钻具与夹持器内钻具之间丝扣连接时的系统压力又必须接近主泵额定工作压力，以确保新装钻具与孔内钻具彻底拧紧。充分考虑钻机控制程序后期维护的便利性，选取钻具装卸过程中的关键边界条件见表 2。

3 双管定向钻进钻杆自动加卸施工工艺设计

根据双管定向钻进的施工工艺，钻机需要满足不同工况下的自动装卸钻具需求。其中，钻杆、套管同时装卸工艺流程如图 7 所示。

表 2 控制程序关键边界条件
Table 2 Key boundary conditions of control program

判断条件	系统压力/MPa
新装钻杆与主动钻杆间丝扣完全连接	≥5
新装套管与主动套管间丝扣完全连接	≥5
钻杆丝扣顺利拆卸	<5
套管丝扣顺利拆卸	<5
夹持器内钻具拧紧	≥25

3.1 钻杆套管同时加装工艺流程

钻机正常作业状态，需要加装钻具时，同时加装套管与钻杆工艺流程如图 7 所示。此时图中的初始位置是指，套管动力头与钻杆动力头均与孔内套管和钻杆相连，且运动到给进装置最前端，双管自动加卸装置两夹持臂位于机身侧面，待加装钻具组合放置在自动加卸装置指定位置；两动力头滑移至距离最近位置。

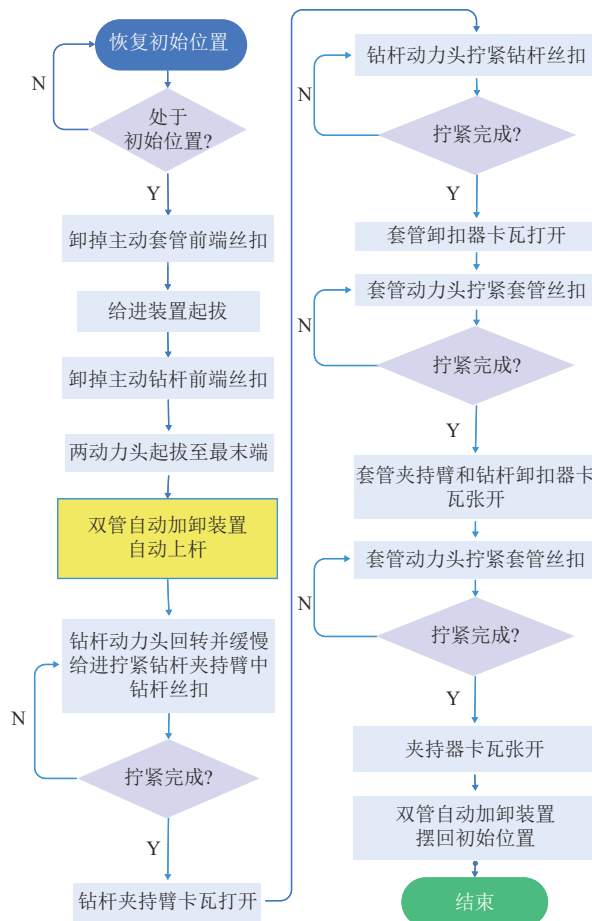


图 7 钻杆、套管同时加装工艺流程

Fig.7 Process flow of simultaneous loading of drill pipe and casing

3.2 钻杆套管同时拆卸工艺流程

钻机正常作业状态，当遇到孔内异常，需要同时拆卸套管和钻杆时，工艺流程如图 8 所示。此时的初始位置是指，套管动力头与钻杆动力头均与孔内套管和

钻杆相连,且待卸套管前端丝扣位于套管夹持器和套管卸扣器之间,双管自动加卸装置两夹持臂位于机身侧面且装置内无钻具;两动力头滑移至距离最近位置。

和分别加装和拆卸钻杆和套管的工作时间进行统计,计算装卸钻杆所用时间占整个钻孔施工时间的比例,分析装置工作效率,试验现场如图 9 所示。

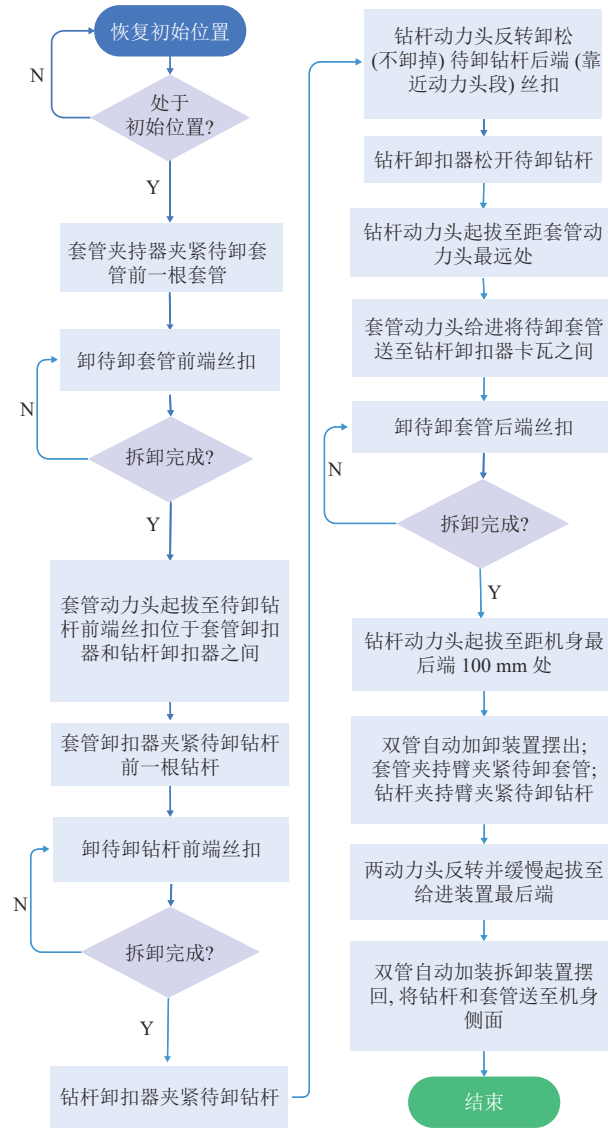


图 8 钻杆套管同时拆卸工艺流程

Fig.8 Process flow of simultaneous unloading of drill pipe and casing

4 现场试验

双动力头定向钻机在淮北矿业祁南煤矿进行了现场工业性试验,按照预定试验方案对双管自动加卸装置的工作稳定性和工作效率进行监测和分析^[20-21]。

4.1 试验情况

在某煤矿 3₁ 采区 313 回风巷,采用 $\phi 73$ mm 整体式大通孔螺旋钻杆和 $\phi 120$ mm 螺旋套管施工 4 个顺煤层定向长钻孔,终孔孔深 250 m。试验目的是检验双管自动加卸装置运行可靠性和作业效率,并对人工和使用自动加卸装置完成同时加装和拆卸钻杆和套管,



图 9 双管定向钻机现场试验

Fig.9 Field test of dual-pipe directional drilling rig

试验顺利完成 4 个钻孔的施工,累计进尺 1 170 m,最大孔深 354 m,套管最大跟进深度 170 m 以上,试验过程中双管自动加卸装置运行稳定可靠,未出现运行故障,各执行机构响应迅速,压力变送器反馈数据能够准确反映各动作运动到位情况。

施工过程中,使用双管自动加卸装置完成钻具装卸,分别记录各工况下完成 1 组钻具装卸所消耗时间,如图 10 所示。

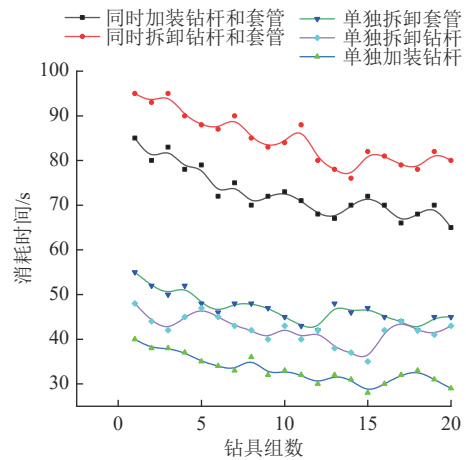


图 10 各种工况下装置加卸钻具所用时间统计

Fig.10 Statistics of time for loading and unloading of drilling rigs by automatic loading and unloading device of dual-pipe under various working conditions

作为对比,不同工况下,连续人工完成 10 组钻具组合的安装和拆卸,记录单组钻具装卸所消耗时间的平均值(表 3)。

根据统计数据计算出人工加卸钻具时,4 个钻孔施工过程中用于装卸钻具的理论时间占整个钻孔施工时间的平均比例为 50.25%,使用双管自动加卸装置后此比例减低到了 23.25%,如图 11 所示。

4.2 试验结果分析

人工装卸钻具时,由于钻具组合质量大,丝扣存在

表3 不同工况下人工装卸单组钻具所用时间统计
Table 3 Statistics of time for manual loading and unloading of a drilling rig under various working conditions

工况	工人数量	平均时长/s
钻杆套管同时加装	3	331.7
钻杆套管同时拆卸	3	282.4
单独加装钻杆	1	70.2
单独拆卸钻杆	1	60.5
单独拆卸套管	1	52.3

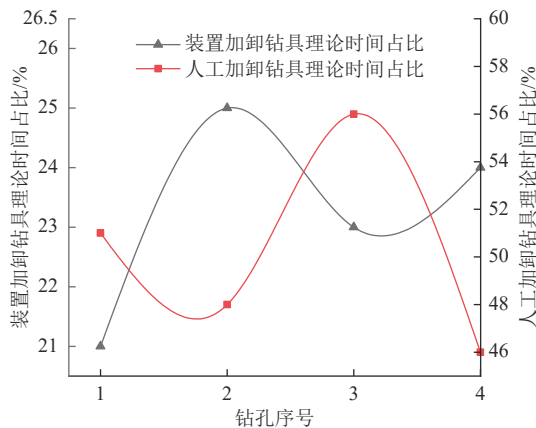


图11 钻孔施工过程中装卸钻具所消耗的时间占比
Fig.11 Proportion of time spent in loading and unloading of drilling rigs during construction

相互遮挡,钻杆和套管的同时加装和拆卸都需要3人密切配合方能完成。在装卸过程中人员需要频繁登高作业,使用管钳拧紧丝扣,作业效率低、安全风险高、工人劳动强度大。

使用自动加卸装置时,随着工人操作的不断熟练,装卸钻具所用时间呈下降趋势,同时加装和拆卸一组套管和钻杆分别平均用时72.7 s和84.7 s,较人工作业装卸效率提高了350%和233%。单独拆卸一根套管和钻杆平均用时46.9 s和42.15 s,较人工作业提高了12%和44%。单独加装一根钻杆平均用时最短为33.2 s,较人工作业提高了110%。钻孔施工过程中用于加卸钻具的理论时间占整个钻孔施工时间的平均下降到了23.25%。

综上所述,双管自动加卸装置和配套工艺方法能够满足碎软煤层双管定向钻进施工要求,将原本需要2~3人密切配合才能完成的钻具组合自动装卸工作,转变为依靠程序控制自动完成,减少了现场作业工人数量,提高了钻具装卸效率,降低了工人劳动强度,保障了施工安全性。

5 结论

a. 本文述及的双管自动加卸装置和配套工艺方法能够满足碎软煤层双管定向钻进施工要求,解决了双管钻进时钻具自动装卸的技术难题。

b. 该双管自动加卸装置具有全自动的钻杆装卸功能,能够根据预先设定的程序配合钻机夹持器完成钻杆和套管的同时加卸,钻杆和套管的单独拆卸和钻杆的单独加装,显著提高了钻具的装卸效率和施工安全性。

c. 经现场试验验证,该双管自动加卸装置能够大幅度降低工人劳动强度,提高钻具的装卸效率。钻杆和套管同时加卸和单独加装钻杆的平均效率较人工装卸分别提高了350%和110%,保证了双管定向钻进综合施工效率。

d. 碎软煤层双管定向钻进技术是一种能够提高碎软煤层钻孔成孔率和成孔深度,保证成孔后的大直径筛管的安设距离的有效技术手段。双管自动加卸装置的成功研制,实现了钻杆和套管的全自动装卸,显著提高了钻孔施工时钻具的装卸效率,为双管定向钻进技术及装备的推广应用奠定了基础。

参考文献(References)

- [1] 胡省三,成玉琪. 21世纪前期我国煤炭科技重点发展领域探讨[J]. 煤炭学报, 2005, 30(1): 1-7.
HU Shengsan, CHENG Yuqi. Discussions on key development fields of China's coal science and technology at early stage of 21st century[J]. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(1): 1-7.
- [2] 刘春. 松软煤层瓦斯抽采钻孔塌孔失效特性及控制技术基础[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
LIU Chun. Study on mechanism and controlling of borehole collapse in soft coal seam[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2014.
- [3] 陈科,陈毅雯,刘志伟,何伟,杨发荣,唐磊. 中低渗高阶煤岩毛管压力数学表征[J]. 地质与勘探, 2021, 57(6): 1401-1408.
CHEN Ke, CHEN Yiwen, LIU Zhiwei, HE Wei, et al. Mathematical characterization of capillary pressure of middle-low-permeability of rock in high-rank coal seam[J]. *Geology and Exploration*, 2021, 57(6): 1401-1408.
- [4] 林柏泉,李庆钊,杨威,等. 基于千米钻机的“三软”煤层瓦斯治理技术及应用[J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 1968-1973.
LIN Baiquan, LI Qingzhao, YANG Wei, et al. Gas control technology and applications for the three-soft coal seam based on VLD-1000 drilling systems[J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(12): 1968-1973.
- [5] 张世阔,曹思华. 复杂地质条件下矿井安全高效开采地质保障技术[J]. 煤矿安全, 2010, 41(4): 70-73.
ZHANG Shikuo, CAO Sihua. Geological guarantee technology about safety and efficient mining of coal mine under complex geological conditions[J]. *Safety in Coal Mines*, 2010, 41(4): 70-73.
- [6] 李泉新,石智军,田宏亮,等. 我国煤矿区钻探技术装备研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(2): 1-6.
LI Quanxin, SHI Zhijun, TIAN Hongliang, et al. Progress in the research on drilling technology and equipment in coal mining areas of China[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2019, 47(2):

- 1-6.
- [7] 姚宁平, 王毅, 姚亚峰, 等. 我国煤矿井下复杂地质条件下钻进技术与装备进展[J]. *煤田地质与勘探*, 2020, 48(2): 1-7.
YAO Ningping, WANG Yi, YAO Yafeng, et al. Progress of drilling technologies and equipments for complicated geological conditions in underground coal mines in China[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2020, 48(2): 1-7.
- [8] 姚亚峰, 姚宁平, 彭涛. 松软煤层套管钻机夹持机构设计与分析[J]. *煤炭科学技术*, 2013, 41(6): 73-76.
YAO Yafeng, YAO Ningping, PENG Tao. Design and analysis on clamping mechanism of soft seam casing drilling rig[J]. *Coal Science and Technology*, 2013, 41(6): 73-76.
- [9] 聂超, 王毅, 姚亚峰, 等. 碎软煤层气动双管定向钻进排粉特性分析及应用[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(5): 159-166.
NIE Chao, WANG Yi, YAO Yafeng, et al. Powder discharge characteristics of pneumatic double pipe directional drilling in broken soft coal seams and its application[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(5): 159-166.
- [10] 姚亚峰, 姚宁平, 沙翠翠, 等. 煤矿井下双动力头定向钻机关键技术研究[J]. *煤矿机械*, 2020, 41(11): 30-32.
YAO Yafeng, YAO Ningping, SHA Cuicui, et al. Research on key technologies of directional drilling rig with double power heads in underground coal mine[J]. *Coal Mine Machinery*, 2020, 41(11): 30-32.
- [11] 董洪波, 范强, 李坤, 等. ZDY4500LFK全自动钻机开发与应用[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(1): 66-71.
DONG Hongbo, FAN Qiang, LI Kun, et al. Development and application of ZDY4500LFK full automatic drilling rig[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(1): 66-71.
- [12] 王天龙, 马斌, 董洪波. 煤矿用自动化钻机远程监测系统研制[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(1): 80-85.
WANG Tianlong, MA Bin, DONG Hongbo. Development of a remote monitoring system for coal mine automatic drilling rigs[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(1): 80-85.
- [13] 方鹏, 姚克, 王龙鹏, 等. ZDY25000LDK智能化定向钻进装备关键技术研究[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(1): 72-79.
FANG Peng, YAO Ke, WANG Longpeng, et al. Research on key technologies of the ZDY25000LDK intelligent directional drilling equipment[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(1): 72-79.
- [14] 姚亚峰, 李晓鹏, 张刚, 等. 煤矿坑道钻机自动加卸钻杆装置的研发[J]. *煤矿机械*, 2017, 38(6): 91-93.
YAO Yafeng, LI Xiaopeng, ZHANG Gang, et al. Development of automatic loading drill rods device on coal mine tunnel drill rig[J]. *Coal Mine Machinery*, 2017, 38(6): 91-93.
- [15] 梁春苗. 煤矿用钻孔机器人自动加杆识别与钻臂定位误差补偿研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2022.
LIANG Chunmiao. Study on recognition of automatic drill pipe-adding and positioning error compensation of drilling boom for the drilling robot in coal mine[D]. Beijing: China Coal Research Institute, 2022.
- [16] 马斌, 彭光宇. 基于单目视觉的钻杆位姿识别技术研究[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(10): 171-178.
MA Bin, PENG Guangyu. Research on drill pipe pose recognition technology based on monocular vision[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(10): 171-178.
- [17] CHEN Hang, XIN Dezhong. Research on the four-stage drill pipe automatic conveying system[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 2095: 012043.
- [18] LIU Zhijian, CHEN Yunlong, RUAN Hailong. Study on dynamics of hydraulic control system for automatic loading and unloading of drill pipe of geological drilling rig[J]. *Shock and Vibration*, 2022, 2022.
- [19] 姚亚峰, 李坤, 姚宁平, 等. 一种双管自动加卸装置及煤矿双动力头钻机: CN201811424801. 5[P]. 2019-04-12.
- [20] 徐瑞, 洪建俊, 张杰. 双管定向钻进技术在祁南矿313工作面的应用[J]. *煤矿安全*, 2021, 52(7): 121-124.
XU Rui, HONG Jianjun, ZHANG Jie. Application of double pipe directional drilling technology in 313 face of Qinan Mine[J]. *Safety in Coal Mines*, 2021, 52(7): 121-124.
- [21] 王力. 井下碎软煤层双管双动空气定向钻进工艺研究[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(7): 166-172.
WANG Li. Techniques of double-pipe and double-acting directional drilling with air in broken and soft coal seams in underground coal mines[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(7): 166-172.

(责任编辑 郭东琼)