

砂岩铀矿勘探用 HXY-1600 型拖车钻机的研制

张琳, 杨苏昌, 吴超, 赵繁, 马亮, 秘俊峰

(陕西核昌机电装备有限公司, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 针对砂岩铀矿地质勘探和地浸开采孔施工的需求, 研制了 HXY-1600 型机械动力头长行程给进拖车钻机。HXY-1600 型拖车钻机设计为一种贯穿式可开合机械式动力头长行程给进结构, 一次给进即可取心, 选用双联齿轮泵作为液压系统动力元件, 配合多路阀实现动力头给进、液压卡盘打开等; 选用法士特 9 挡变速箱, 提供多种输出转速; 拖车式钻机采用伸缩钻塔, 方便运输和搬迁转场。运用钻参显示系统, 实时记录钻进工作参数, 并自动形成钻进报表。另设置了钻塔超载、大钩负荷超限、动力头扭矩超限预警等安全保护功能。该钻机主要用于地浸砂岩铀矿勘探, 可适用绳索取心钻探工艺, 也可适用地浸开采孔钻探工艺。现场工程施工应用表明: HXY-1600 型拖车钻机结构紧凑, 性能可靠, 复杂地层适应能力强, 操作安全舒适, 钻进效率高。

关键词: 贯穿式开合机械动力头; 长行程给进; 拖车钻机; 钻参显示; 安全预警; 地浸砂岩铀矿勘探

中图分类号: P634.3⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)02-0102-06

Development of HXY-1600 trailer drilling rig for sandstone uranium exploration

ZHANG Lin, YANG Suchang, WU Chao, ZHAO Fan, MA Liang, MI Junfeng

(Shaanxi Hechang Electromechanical Equipment Co., Ltd., Xianyang Shaanxi 712000, China)

Abstract: In response to the needs of geological exploration and in-situ leaching mining hole construction in sandstone uranium mines, the HXY-1600 mechanical power head long stroke feed trailer drilling rig has been developed. The HXY-1600 trailer drilling rig is designed as a through type mechanical power head with a long stroke feeding structure that can be opened and closed. The core can be taken in one feeding, and a dual gear pump is selected as the hydraulic system power component. It is combined with multiple valves to achieve power head feeding, hydraulic chuck opening, etc; Select a 9-speed Fast gearbox, providing multiple output speeds; The trailer type drilling rig adopts a telescopic drilling tower, which is convenient for transportation and relocation. Using a drilling parameter display system, real-time recording of drilling parameters and automatic generation of drilling reports. In addition, safety protection functions such as drilling tower overload, hook load exceeding limit, and power head torque exceeding limit warning have been set up. This drilling rig is mainly used for the exploration of in-situ leached sandstone uranium deposits, and can be used for rope core drilling technology as well as in-situ leached mining hole drilling technology. The on-site engineering construction application shows that the HXY-1600 trailer drilling rig has a compact structure, reliable performance, strong adaptability to complex formations, safe and comfortable operation, and high drilling efficiency.

Key words: through type opening and closing mechanical power head; long stroke; trailer drilling rig; drilling parameter display; safety warning; exploration of in-situ leached sandstone uranium deposits

0 引言

近几年随着国家核地质事业的大力发展, 核工业地浸铀矿勘探孔、地浸开采孔任务量逐年增加,

孔径及孔深都有所加大。目前使用的钻探设备主要是立轴式岩心钻机或拖车平台, 以及少量的全液压钻机与电动顶驱钻机^[1-2], 钻探设备的钻进能力没

收稿日期: 2023-10-18; 修回日期: 2023-12-11 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.02.014

基金项目: 咸阳市 2019 年重大科技专项计划项目 (编号: 2019K01-10)

第一作者: 张琳, 男, 汉族, 1969 年生, 副总经理, 高级工程师, 从事地质岩心钻探设备、新能源环卫设备、石油非标装备的设计与开发工作, 陕西省咸阳市玉泉西路西延段秦都科技产业园, 277195779@qq.com。

引用格式: 张琳, 杨苏昌, 吴超, 等. 砂岩铀矿勘探用 HXY-1600 型拖车钻机的研制[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 102-107.

ZHANG Lin, YANG Suchang, WU Chao, et al. Development of HXY-1600 trailer drilling rig for sandstone uranium exploration[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 102-107.

有得到提升,安全性、先进性、高效率等方面已经不能满足目前核工业勘探的要求。钻探工艺方面,大部分采用的仍然是普通提钻取心,效率很低。目前核工业地质局正在积极组织地浸砂岩铀矿钻探绳索取心工艺^[3-4]和装备的相关研究和推广,并提出研发能力更强、机动性好、提升能力更大、钻探深度更深、机械化程度高、可操作性强、更安全、更实用、更先进的新式拖车钻机,来满足核工业勘探的要求。因此我公司针对砂岩铀矿地质勘探和地浸开采孔施工,对老式拖车钻机进行更新换代,适时研发了HXY-1600型(机械动力头长行程给进)拖车钻机。该钻机避免了全液压岩心钻机功耗大、维修保养要求高的缺点,保留了立轴岩心钻机的优点^[5-6],设计了更加合理、高效的电动主机,采用了较为先进的气动技术、传感器技术、钻参显示技术等。在进尺速度、上下钻速度、孔底压力控制、钻进参数显示和控制方面具有显著的特点,在人机协调、安全性、操控性能上得到了充分提高。

1 主要研究内容

通过调研国内外同类型钻机的使用情况,为满足核工业勘探的施工要求,HXY-1600型拖车钻机需要解决以下问题:

(1)为避免全液压钻机功率损失大、能源消耗大、维修保养要求高等缺点,又要保留立轴式岩心钻机传动效率高、扭矩大、处理孔内事故能力强、维修方便等优点,适用于地浸砂岩绳索取心工艺和普通提钻工艺,采取贯穿式可开合机械动力头长行程给进系统,要求安全可靠、操作方便,开合动力头可以让开孔口实现提钻和下钻以及绳索取心。

(2)伸缩钻塔的设计,能满足9 m立根的提升,并满足足够的承载力及稳定性。钻塔的伸缩依靠给进油缸来完成,伸缩后的锁紧机构应可靠。

(3)变速、离合、卷扬机远程控制设计^[7]:选用可靠性高、变速平稳、耐用、动力输出持续平顺、使用率高、配件易更换的法士特变速器,配备相应的法士特伊顿离合器,卷扬机横置对中天车,便于排绳。变速、离合、卷扬机的远程操作通过液压控制,要求可靠、便于操作、节省人力。整个设计借鉴市场常用运输车辆的远程变速离合控制来实现。

(4)钻参显示系统,可以显示各种钻进参数^[8],如动力头转速、给进速度、钻具重力、大钩负荷、泥

浆泵压力、液压油温度等,各种参数通过显示屏直观可见,并具有储存功能,为以后进行钻探施工分析提供可靠数据。应具有大钩极限位置预警提示、钻塔超载预警等安全保护功能。

(5)液压系统设计确保各元器件执行单元性能可靠稳定,具有满足强力提拔、处理孔底事故的能力。气动系统主要控制气动离合器的闭合与开启^[9],并为变速箱离合器分离油泵和变速箱高低挡切换提供气源,应操作舒适方便,动作反应迅速,安全可靠。

2 HXY-1600型拖车钻机主要结构及参数

2.1 钻机外形结构

HXY-1600型拖车钻机主要由拖车底盘、支腿油缸、钻塔底架、下塔架、上塔架、天车、立根靠架、取心绞车、给进油缸、立塔油缸、主机(动力传动系统)、液压系统、电气控制系统^[10]、远程操作台、气动系统等部件组成。外形结构如图1所示。

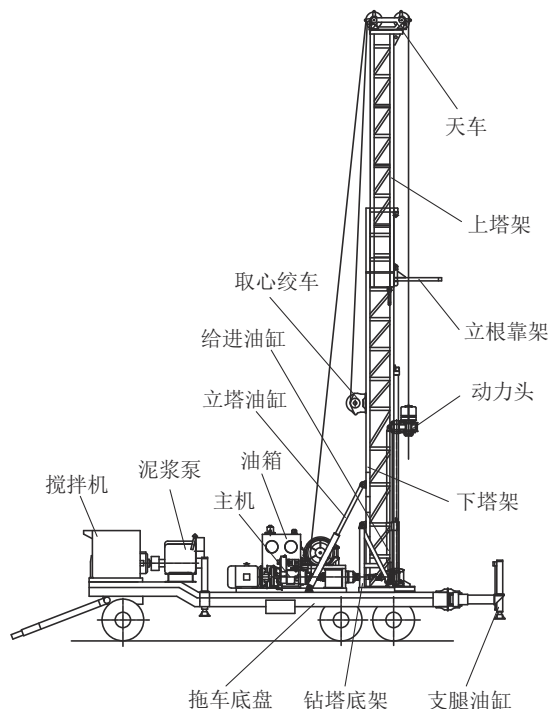


图1 HXY-1600型拖车钻机结构

Fig.1 Structure of HXY-1600 trailer drilling rig

拖车底盘采用三桥拖车设计,额定承载质量40 t,满足承载能力。采用外扩式液压支腿,增大了支撑面积,减小倾覆风险,在施工过程中稳定可靠。

动力头滑架与给进油缸固定连接在一起,给进油缸行程 3.3 m。钻塔收缩靠给进油缸来完成,伸出后高度可达 15 m,满足提钻要求。主机为钻机提供动力,是钻机的核心部件。可根据需求配泥浆泵和泥浆搅拌机等设备,集中在拖车上一次搬迁移孔。也可与我公司研发的 NCT-10 型拖车式泥浆不落地装置配套使用^[11],对泥浆进行造浆、收集、净化、分离处理,实现绿色无污染施工。

2.2 主要技术参数(见表 1)

表 1 钻机主要技术参数

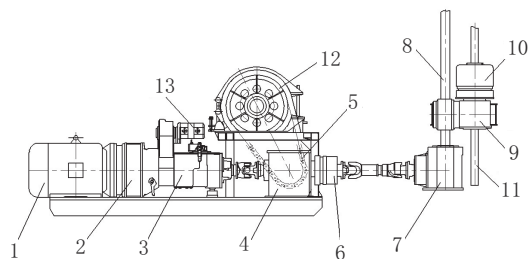
Table 1 Main technical parameters of drilling rig

整机参数	钻进能力	BQ: Ø55.6 mm, 2000 m; NQ: Ø71 mm, 1600 m; HQ: Ø89 mm, 1200 m; PQ: Ø114 mm, 800 m
	液压系统	主泵 32 mL/r, 20 MPa; 副泵 20 mL/r, 20 MPa
	气动系统	气压 0.6~0.8 MPa
	取心绞车	空鼓提拔力 12 kN; 满鼓提拔力 6 kN; 装绳 1200 m/Ø6 mm
	动力机	电动机功率 75 kW; 转速 1460 r/min
	钻塔	高度 15 m; 大钩额定负荷 250 kN; 钻塔负荷 360 kN
	外形尺寸	工作状态尺寸: 11.9 m×3.0 m×16.2 m(长×宽×高) 行驶状态尺寸: 12.31 m×3.0 m×4.29 m(长×宽×高)
	最大扭矩	11190 N·m
	最大通径	Ø118 mm
	动力头参数	最大扭矩 180 kN 最大提拔力 380 kN 动力头转速 正转: 55、92、131、180、224、311、439、606、749 r/min; 反转: 52 r/min
拖车参数	液压卡盘	碟簧夹紧液压松开, 夹持力 380 kN
	轮距	2200 mm
	离去角	25°
	额定总承载	40 t
行驶速度		道路≤40 km/h, 野外≤20 km/h

2.3 主机结构

钻机主机结构如图 2 所示。传动系统由电机 1 提供动力,通过离合器 2、变速箱 3 和万向联轴节将动力传递至分动箱 4。变速箱采用法士特 9 挡变速箱,提供 9 个正转和 1 个反转转速。变速箱带前取力器,取力器与液压泵 13 连接,为钻机提供液压力。

离合变速系统通过远程控制机构来操作,节省人力,便于操作。分动箱 4 提供两个方向的动力,其一通过链条 5 将动力传递至卷扬机 12,带动卷扬机工作,在分动箱输出轴与链条轴之间安装了气动离合器 6,卷扬机的“制动与提升”通过液压在操作台控制;其二通过气动离合器 6 将动力传递至弧齿箱 7,弧齿箱 7 将水平动力转化成垂直动力经六方立轴 8 传递至动力头 9,从而带动主动钻杆 11 旋转。卡盘 10 为常闭式液压卡盘^[12],实现对主动钻杆的夹紧和松开。为了解决分动箱两轴输出动力,实现卷扬机与动力头独立工作,互不影响的分离与接合,使用了气动离合器,供气压力 0.6~0.8 MPa,通过电磁阀远程操作,实现离合器的快速分离与接合,操作方便,安全可靠、反应速度快。主机动力传递路线如图 3 所示。



1—电机;2—离合器;3—变速箱;4—分动箱;5—链条;6—气动离合器;7—弧齿箱;8—六方立轴;9—动力头;10—液压卡盘;11—主动钻杆;12—卷扬机;13—液压泵

图 2 钻机主机结构

Fig.2 Main structure of drilling rig

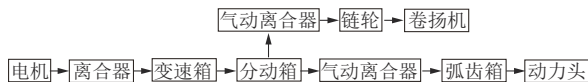


图 3 主机动力传递路线

Fig.3 Power transmission route of main structure

2.4 动力头结构

动力头结构如图 4 所示,主要由固定箱体、活动箱体、液压卡盘、大齿轮、小齿轮、六方立轴轴套、主动钻杆空心轴、滑架连接板、开合销轴、开合固定螺钉组成。动力头的长行程给进通过滑架连接板与给进油缸上的滑架连接来实现;动力传递是将弧齿箱的动力通过六方立轴传递到立轴轴套,从而带动小齿轮旋转,小齿轮带动大齿轮,将回转力传递到主动钻杆空心轴。主动钻杆空心轴中装有主动钻

杆,通过液压卡盘将主动钻杆夹紧进行回转;活动箱体可通过开合销轴和开合固定螺钉进行开合,打开时活动箱体带着主动钻杆移开孔位,此时卷扬机通过游动滑车便可以提下钻杆或者应用绳索取心工艺的取心绞车来取心。

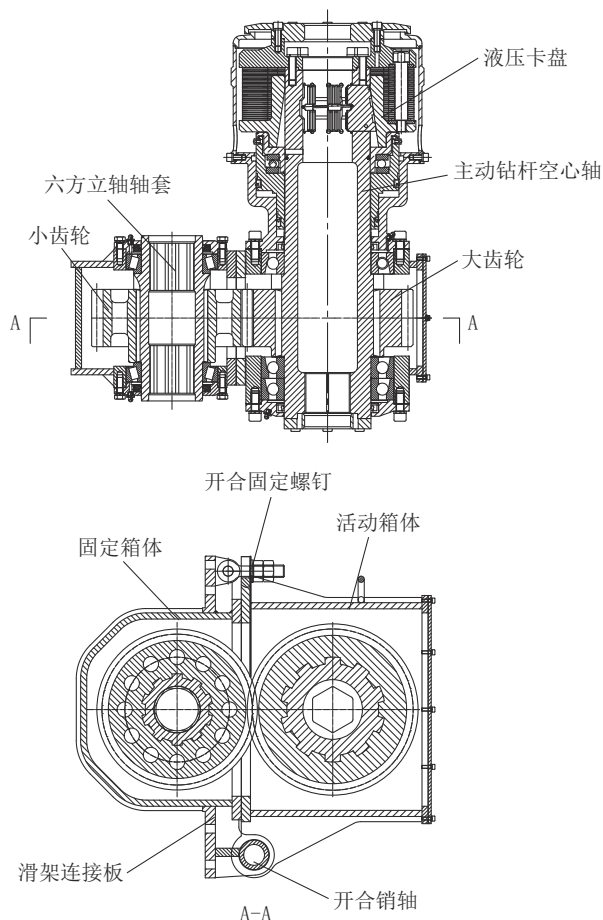


图4 动力头结构

Fig.4 Structure of drill power head

动力头是钻机的主要执行元件,为主动钻杆提供最大 $11.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 的回转扭矩;液压卡盘夹紧主动钻杆,最大夹持力 380 kN ,最大通径 118 mm ;给进油缸为动力头提供最大给进力 180 kN ,最大提拔力 380 kN ,给进行程 3.3 m ;通过变速箱9挡变速及齿轮传动,动力头可实现 $52\sim 749 \text{ r/min}$ 的转速输出。

3 操作系统及钻参显示系统

3.1 操作系统

钻机的操作控制元件集中在操作台上(如图5所示)。操作系统由供电电路、输入量电路、可编程

控制器和显示电路、执行电路、报警电路组成。控制核心部分是PLC控制器,执行电路通过继电器、电磁阀等执行元件对钻机进行控制调节,控制器与液晶显示屏采用CAN-BUS现场总线连接。控制系统程序设计采用RS232串行通信功能模块,根据施工要求,采用屏幕操作和手动操作进行控制。



图5 HXY-1600型拖车钻机操纵台

Fig.5 Control console of HXY-1600 trailer drilling rig

五联阀控制取心绞车、快速给进、主卷扬机上升和下降、夹持器或拧管机控制回路、副卷扬自落控制,在绳索取心时可以实现岩心管在钻杆中自由落地下落,可提高下落速度。两联阀控制给进油缸,实现动力头上升、下降、停留动作,另一路控制液压卡盘的开、合操作,液压卡盘设计为常闭式碟簧夹紧和液压松开型,夹持力大。电控按钮区域主要通过电磁阀控制钻机、泥浆泵的启停^[13]、两个气动离合器的离合、双泵合流及钻机急停等动作。

3.2 钻参显示系统

设计的钻参显示系统主要是应用各种编码器和传感器,如温度传感器、光电传感器、压力传感器、位置传感器等,进行压力、流量、位移、转速等数据的采集^[14-16],通过一系列运算进行数据转换处理,最终在人机交互界面直观显示钻探参数,并实时记录、保存和传输数据,以供后续分析。钻参显示界面如图6所示。

钻参显示界面可以显示目前工作状态,如加压钻进、提钻、下钻、取心等。可显示系统压力、给进

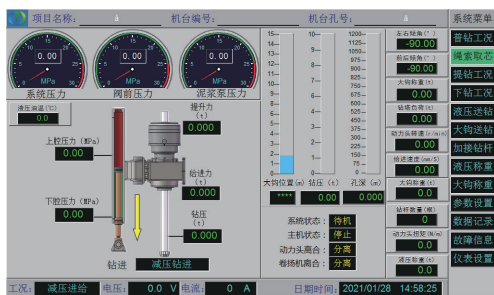


图6 钻参显示界面

Fig.6 Display interface of drill parameter

油缸上下腔压力、提升力、给进力、钻头压力、转速、钻塔负荷、当前挡位、给进速度、液压油温等参数。也可以对各参数进行设置,钻参显示屏为触摸屏,点击仪表设置便可弹出对话框(图7)。可以根据施工特点设置具体参数,例如设置大钩拉力为100 kN,卷扬机游动滑车距离天车1 m,则当卷扬机游动滑车接近天车1 m距离时,或者大钩承重接近100 kN时,声光报警器便会启动,提醒操作者注意,此时操作者根据经验、地层构造、泥浆情况、孔深、其他相关钻进参数等条件,综合判断,做出合理应对措施,避免事故发生。故障信息显示如图8所示。



图7 仪表设置界面

Fig.7 Setting interface of instrument



图8 故障信息显示

Fig.8 Fault information display

4 施工应用

HXY-1600型拖车钻机先后在核工业203研究

所陕西彬县施工工地与核工业208大队内蒙古鄂尔多斯杭锦旗施工工地进行施工。

在陕西彬县施工工地(如图9所示),设计孔深491 m,实际终孔孔深505.83 m,施工准备、钻探施工及设备搬迁总耗时15天;内蒙古鄂尔多斯施工工地,完成2个钻孔,终孔孔深分别为606、586.4 m,总耗时32天,其中处理事故4天,转场准备3天。在砂岩层,绳索取心时容易将砂岩卡在钻杆内壁与绳索取心钻具之间,造成卡钻,经处理后正常钻进。两处施工均全程采用绳索取心工艺,使用六方主动钻杆规格 $\Phi 89\text{ mm} \times 79\text{ mm}$,使用绳索取心钻杆外径71 mm,综合平均进尺效率38.6 m/天^[17-18]。



图9 HXY-1600型拖车钻机施工现场

Fig.9 Construction site of HXY-1600 trailer drilling rig

在施工过程中,钻机液压系统最高油温56.2℃,最高工作压力达16 MPa,液压元件工作可靠,无漏油现象。系统运行良好,各执行件动作灵敏,各机械零部件运转正常,无发热、异响和变形等现象。电气系统和气动系统工作稳定,钻参显示系统工作正常。

在施工中万向联轴器与弧齿箱的花键连接处存在少量漏油,采用更改密封形式、更换质量更好的密封材料的改进方案;开合动力头打开时,由于游动滑车体积较大,游动滑车与滑架之间距离较小,在晃动中容易碰撞,采用在动力头中的大小齿轮之间加一个介轮来增加开合距离的改进方案。

5 结论

(1)HXY-1600型拖车钻机作为一种砂岩铀矿勘探用新型钻机,其结构紧凑合理,设计新颖,搬迁转场方便快捷。操作手柄、显示屏和控制按钮集中

在操作控制台上,布局合理,操作方便,安全可靠。

(2)采用贯穿式可开合机械动力头,转速设置合理,传动效率高,可适用绳索取心工艺和普通钻进工艺。采用双油缸长行程给进装置,给进行程3.3 m,节省倒杆时间,一次给进即可取心;给进压力可达到20 MPa,最大提升能力380 kN,处理事故能力强。

(3)设有钻参显示系统,可以实时显示和记录各种钻进参数,对钻探过程进行监测和控制;设置有极限预警安全保护系统,有效避免事故发生,保证钻进施工安全、高效。

参考文献(References):

- [1] 张西坤,王志强,商卫东,等.XYT-1500型岩心钻机拖车平台研制及应用[J].钻探工程,2023,50(1):69-75.
ZHANG Xikun, WANG Zhiqiang, SHANG Weidong, et al. Development and application of HXT-1500 core drill trailer[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1): 69-75.
- [2] 胡向阳,李东,张笃昌,等.XD-10DK型小口径电动顶驱钻机的研制与应用[J].钻探工程,2022,49(6):87-95.
HU Xiangyang, LI Dong, ZHANG Duchang, et al. Development and application of XD-10DK small diameter electric top drive drill[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(6): 87-95.
- [3] 汪学春.绳索取心工艺在小口径钻探中的应用[J].新疆有色金属,2014,37(S2):76-77,80
WANG Xuechun. Application of rope coring technology in small bore drilling [J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2014, 37(S2): 76-77, 80.
- [4] 高利军.勘查钻探中绳索取心与普通钻进特点与差异[J].地下水,2012,34(5):79-80.
GAO Lijun. Characteristics and differences between rope coring and conventional drilling in exploration and drilling[J]. Groundwater, 2012, 34(5): 79-80.
- [5] 周亲宗,谭颖,卢春阳,等.传统立轴岩心钻机的智能升级[J].地质装备,2019,20(5):15-16.
ZHOU Qinzong, TAN Ying, LU Chunyang, et al. Intelligent upgrade of traditional vertical axis core drilling machines [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2019, 20(5): 15-16.
- [6] 彭儒金,戴圣海,邱华.XY-6B型岩心钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):59-61.
PENG Rujin, DAI Shenghai, QIU Hua. Development and application of XY-6B core drilling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(9): 59-61.
- [7] 杨苏昌.立轴式岩心钻机变速离合的改进[J].地质装备,2015,16(3):18-20.
YANG Suchang. Improvement of variable speed clutch for vertical axis core drilling rig [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2015, 16(3): 18-20.
- [8] 张占存,邹永滔,赵洪瑞.煤矿井下钻孔钻进参数检测装置研究[J].中国矿业,2014,23(10):133-137.
ZHANG Zhancun, ZOU Yongming, ZHAO Hongrui. Research on the detection device for drilling parameters in underground coal mines [J]. China Mining, 2014, 23(10): 133-137.
- [9] 杨苏昌,张琳,秘俊峰.齿合型离合器在HXY-1600智能拖车钻机上的应用[J].装备维修技术,2023(2):52-56.
YANG Suchang, ZHANG Lin, MI Junfeng. Application of toothed clutch on HXY-1600 intelligent trailer drilling rig [J]. Equipment Maintenance Technology, 2023(2): 52-56.
- [10] 曹金龙.HXY-1600智能全液压拖车钻机的电气控制系统[J].地质装备,2020,21(6):19-20.
CAO Jinlong. Electrical control system of hxy-1600 intelligent full hydraulic trailer drill [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2020, 21(6): 19-20.
- [11] 秘俊峰,罗诗伟,吴超.NCT-10拖车式泥浆不落地的研制[J].装备维修技术,2022(3):19-24.
MI Junfeng, LUO Shiwei, WU Chao. Development of NCT-10 trailer type mud non landing device [J]. Equipment Maintenance Technology, 2022(3): 19-24.
- [12] 杨苏昌.对立轴式岩心钻机常闭式液压卡盘漏油问题的探讨[J].地质装备,2014,15(2):17-19.
YANG Suchang. Discussion on the problem of oil leakage in the normally closed hydraulic chuck of vertical axis core drilling machines [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2014, 15(2): 17-19.
- [13] 贺力勤.电磁控制元件[M].北京:北京理工大学出版社,2001.
HE Liqin. Electromagnetic Control Elements [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2001.
- [14] 曹金龙.数字信息采集及传输系统在HXY-1600智能拖车钻机的应用[J].地质装备,2021,22(1):15-16,14.
CAO Jinlong. Application of digital information collection and transmission system in HXY-1600 intelligent trailer drilling machine [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2021, 22(1): 15-16, 14.
- [15] 赵建勃,罗帅训,董朝晖.工程勘查钻进数据采集设备的自动控制系统设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):23-29.
ZHAO Jianbo, LUO Shuaxun, DONG Chaohui. Design and application of an automatic control system for data acquisition equipment in engineering exploration drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(12): 23-29.
- [16] 黄伟,杨宽才,孔二伟.XY-8型钻机配套的钻场数字信息采集及传输系统[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):49-51,55.
HUANG Wei, YANG Kuanchai, KONG Erwei. Digital information collection and transmission system for drilling sites equipped with XY-8 drilling machines [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(3): 49-51, 55.
- [17] 李柏军,童俊涛,王琳,等.铀矿地质钻探月效率影响因素分析及提升建议[J].钻探工程,2023,50(3):44-56.
LI Baijun, TONG Juntao, Wang Lin, et al. Analysis of influencing factors on the drilling efficiency of uranium geological drilling and suggestions for improvement [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3): 44-53.
- [18] 刘晓阳,李博.地浸砂岩型铀矿钻探现状及提高钻探效率的技术措施[J].钻探工程,2021,48(1):35-41.
LIU Xiaoyang, LI Bo. Current status of in-situ leachable sandstone-type uranium drilling and technical measures of improving drilling efficiency [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(1): 35-41.

(编辑 荐华)