

# 钻井利器故事之“全液压岩心钻机”

薛倩冰<sup>1,2</sup>, 王晓赛<sup>1,2</sup>, 樊广月<sup>1,2</sup>, 伍晓龙<sup>1,2</sup>, 汤小仁<sup>1,2</sup>,  
杜垚森<sup>1,2</sup>, 王庆晓<sup>1,2</sup>, 董向宇<sup>1,2</sup>, 高鹏举<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000;  
2. 中国地质调查局深部探测钻探装备技术创新中心, 河北廊坊 065000)

**摘要:** 钻机作为钻探工程中最重要地面设备, 是当之无愧的钻井利器。全液压岩心钻机是岩心钻机的主要发展方向。本文从科普的角度, 介绍了岩心钻机在破岩过程中提供压力和旋转运动的主要作用, 类比杠杆分析液压传动的工作原理, 回顾了立轴式手把钻机、立轴式油压钻机到全液压岩心钻机的发展历程, 阐述模块化轻便岩心钻机的特点及适合绿色勘查要求的优越性, 并指出全液压岩心钻机的智能化、高效化、绿色化的发展方向。

**关键词:** 岩心钻机; 全液压; 轻便化; 模块化; 智能化; 绿色勘查

**中图分类号:** P634.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:** C **文章编号:** 2096-9686(2024)04-0172-05

## The story of a drilling weapon: Full hydraulic core drill

XUE Qianbing<sup>1,2</sup>, WANG Xiaosai<sup>1,2</sup>, FAN Guangyue<sup>1,2</sup>, WU Xiaolong<sup>1,2</sup>, TANG Xiaoren<sup>1,2</sup>,  
DU Yaosen<sup>1,2</sup>, WANG Qingxiao<sup>1,2</sup>, DONG Xiangyu<sup>1,2</sup>, GAO Pengju<sup>1,2\*</sup>

(1. *Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China*;  
2. *Technology Innovation Center for Deep Exploration Drilling Equipment, China Geological Survey, Langfang Hebei 065000, China*)

**Abstract:** The drilling rig, as an important ground equipment in drilling engineering, is undoubtedly a drilling weapon. The full hydraulic core drill is the main developed direction of the coring rig. This article introduces the main functions of core drill in providing pressure and rotational motion during rock breaking from the perspective of popular science. The working principle of hydraulic transmission is analyzed by analogy with lever principle. The development process from vertical axis handlebar drilling rigs, vertical axis hydraulic drilling rigs to fully hydraulic core drilling rigs is reviewed, the characteristics of lightweight core drill and their advantages in meeting green exploration requirements are elaborated, and the development direction of fully hydraulic core drill is put forward, which is intelligence, efficiency and greening.

**Key words:** core drill; fully hydraulic; lightweight; modularization; intelligent; green exploration

## 0 引言

钻探是矿产勘探开发最直接、最有效的手段, 可获取岩心等地质资料, 探明矿产储量和质量。新

一轮找矿突破战略行动以来, 钻探工程面临工作量大、分布区域广、承钻单位多等问题, 优选先进、适用的钻探设备有助于高质量钻探工程的实施。自

收稿日期: 2024-04-07; 修回日期: 2024-07-08 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.04.021

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“南方地区战略性矿产快速查证与技术支撑”(编号: DD20230348)、“紧缺战略性矿产高效勘查智能化钻探技术支撑”(编号: DD20240121)

第一作者: 薛倩冰, 女, 汉族, 1987年生, 工程师, 地质工程专业, 硕士, 主要从事钻探工艺技术与地质调查项目管理, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, 913311690@qq.com。

通信作者: 高鹏举, 男, 汉族, 1988年生, 高级工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事钻探设备、钻探工艺的研究工作, 河北省廊坊市金光道77号, gaopengju1000@163.com。

引用格式: 薛倩冰, 王晓赛, 樊广月, 等. 钻井利器故事之“全液压岩心钻机”[J]. 钻探工程, 2024, 51(4): 172-176.

XUE Qianbing, WANG Xiaosai, FAN Guangyue, et al. The story of a drilling weapon: Full hydraulic core drill[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(4): 172-176.

然资源部办公厅发布的《关于加强新一轮找矿突破战略行动装备建设的指导意见》中,明确提出要推广模块化钻机等绿色勘查装备,助力找矿突破战略行动取得重大突破。全液压岩心钻机作为我国地质岩心钻机的主要发展方向,在矿产勘探中发挥着重要的作用。

## 1 岩心钻机与液压

俗话说“工欲善其事,必先利其器”。要做好钻探这件事,也得收拾下手中的家伙事儿。走进钻探现场第一时间注意到的耸立在孔口的就是钻机,如图1所示。作为地面上最重要的设备,钻机便是首当其冲的利器,其中全液压岩心钻机更是钻机家族中的佼佼者<sup>[1-3]</sup>。



图1 钻探施工现场

Fig.1 Drilling construction site

钻机就是往地下钻孔的机器,要搞明白钻机,先看下钻探的过程。在生活中最常见的“钻探”就是手电钻打孔,如图2所示。手电钻工作时,施加给旋转的钻头一个压力,使钻头打破钻进的物体,从而形成钻孔。钻机的主要功能和手电钻类似,也是提供压力和旋转运动。不同的是,手电钻的钻头是实心的,把钻进的物体全部打碎,而岩心钻机使用的钻头是空心的,要钻出一个环状的钻孔,取出中间的柱子——岩心,工作过程如图3所示。

岩心钻机在钻探过程中主要提供回转钻具、给进钻具、升降钻具、拧卸钻具、起下套管等功能。回转和给进钻具的目的是通过钻头实现连续的岩石破碎和钻孔加深,升降和拧卸钻具用于提取岩心、更换钻头、加长钻具或执行其他相关工作。钻机必须具有上述功能,并配备相应的回转机构、进给机构、提升机构和拧卸机构;此外,为了给每个工作机构提供合适的动力,设置必要的传动机构、能量转



图2 手电钻打孔工作

Fig.2 Hand electric drill



图3 岩心钻机钻进工作

Fig.3 Core drill rig is working

换机构、控制装置,并将这些机构集成在一个底座上<sup>[4-6]</sup>。

那“液压”又是怎么回事呢?液压是以液体(多为水或油)作为介质来传递力量的一种机械方式,最突出的特点是结构简单、传动动力大。这点和杠杆类似,如图4所示,利用一块小石头和一根棍子组成一根杠杆,只需要很小的力就可以撬动大石头。同样的,如图5所示,在密闭的容器内,只需要很小的力就可以抬升重物,只是上升的速度慢一些。液压传动可以理解为可以实现速度和力量切换的小个子大力士。

自18世纪末英国制成世界上第一台水压机起,液压传动技术已有二三百年的历史。1960年代后,液压传动技术得到了广泛应用,成为实现生产过程自动化、提高劳动生产率等必不可少的重要手段之一。目前,液压技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、耐用和高度集成等各种要求方面取

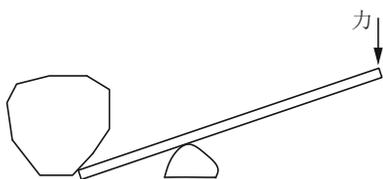


图4 杠杆工作示意

Fig.4 Schematic diagram of lever operation

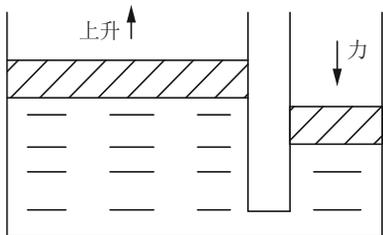


图5 液压传动示意

Fig.5 Schematic diagram of hydraulic transmission

得了重大进展,在比例控制、伺服控制、数字控制等技术方面也有许多新成果<sup>[7]</sup>。

与传统的机械传动相比较,液压传动具有功率密度大、无级调速、运动平稳、大范围的力和速度调节、易于实现自动化控制、过载保护等技术优势,已成为各类机械实现传动和控制的重要技术手段。

那么,钻机遇上液压传动又会擦出怎么样的火花呢?

## 2 全液压岩心钻机的由来

什么是“全”液压钻机,难道还有“半”液压岩心钻机不成?是的,在全液压钻机问世之前,常用的立轴式油压给进钻机就是一种“半”液压岩心钻机,只有施加压力的给进机构是液压传动,其余旋转、打捞等动作都是依靠皮带、链条、齿轮等机械传动实现的,如图6所示。立轴式油压给进钻机是1940年代中期随着金石钻探技术与液压技术发展起来的,在此之前常用岩心钻机类型为立轴式手把给进钻机。

立轴式手把给进钻机的给进、旋转等动作都是机械传动实现的,经历了人力、蒸汽机、柴油机等不同动力驱动的阶段,是一种不能调速(后期实现了变速箱调速)的低速钻机,适用于硬质合金钻进、钢粒钻进。这种钻机的优点是结构简单、成本低、坚固耐用,缺点是机构笨重、机械化程度低、钻进效率低。立轴式油压给进钻机相较于立轴式手把给进



图6 立轴钻机

Fig.6 Spindle type drill

钻机,转速提高到500~2000 r/min,速度级数增多到6~12挡,基本能够满足金刚石钻进的需求<sup>[8]</sup>。

全液压岩心钻机有了液压技术的加持,在继承立轴钻机基本功能的基础上,实现了性能上的突破,市场上全液压岩心钻机钻进深度已经达到了3500 m,此类钻机的外形如图7所示。液压无级变速简化了钻机传动机构,既减轻了钻机质量,又能充分利用动力,采用长行程液压油缸,给进行程3.5~5 m,比立轴钻机的0.5~0.6 m要长得多,大幅度减少了倒杆的次数。液压传动工作平稳,操作方便安全,对高速小口径钻进(如金刚石钻进)尤为合适。自带桅杆,取消了钻塔,钻机上集成泥浆泵,全部为模块化设计,采用液压或电液控制的仪表化按钮化工作台,实现了远距离集中控制。履带实现了钻机移动自由,增加了机动性,方便搬家<sup>[9]</sup>。



图7 全液压岩心钻机

Fig.7 Full hydraulic core drill

可是,遇到高山、丘陵,履带也上不去该怎么办呢?

## 3 全液压岩心钻机升级版——轻便岩心钻机

轻便岩心钻机(也称便携式全液压岩心钻机或

模块化钻机)作为全液压岩心钻机的升级版,采用分体模块化设计,是专门针对高山、丘陵等地难进入地区而研发的。将操作台、动力单元、油箱等设计为独立模块,可以像拼搭积木一样将钻机组装起来,如图8所示。



图8 轻便岩心钻机  
Fig.8 Portable drill

国外轻便钻机的研制起步较早,1970年代就已形成系列化,采用轻便钻机+直升机吊运方式实现难进入地区实施钻探工程,钻机特点为:模块多,轻质合金材料使用较多,中空卡盘式动力头,价格昂贵,单元质量相对较轻,人性化细节设计,便于操作等。

自2012年中国地质科学院勘探技术研究所开展轻便岩心钻机研究工作以来<sup>[10-11]</sup>,国内逐步开始了系列化便携式钻机的生产和市场化运作,英格尔、诺克、普华英工、远东兄弟等国内轻便钻机主流公司的产品已经进行了市场验证,并得到了广大用户的认可。

轻便岩心钻机在继承全液压钻机优势的基础上,充分发挥模块化设计的优势,使得各部件结构紧凑、布局合理。通过精心规划和优化,将钻机的关键组件集成在有限的空间内,减少了不必要的冗余部分。采用先进的制造工艺和轻量化材料,在保证钻机强度和性能的前提下,减轻了各部件的质量和体积。使得轻便钻机具备了搬迁方便、布置灵活、地形适用性广等特点。在山区等难进入地区的应用实践表明,轻便岩心钻机配备小型履带车或人抬肩扛分模块运输,可以大幅度减少进场道路的修筑规模<sup>[12-13]</sup>。

在空间受限的作业区域,可以通过巧妙的组合和布置,最大程度地减少对场地的占用。同等能力的轻便岩心钻机占地面积是全液压岩心钻机的70%左右,是立轴钻机的60%左右<sup>[14]</sup>。机头占地面积小就意味着对地表的影响小,可以有效地减少对耕地、林地、草地及周边环境的破坏,契合了绿色勘查中环境影响小的要求,将会成为新一轮找矿突破战略行动的主力设备。

经过工程实践验证,轻便岩心钻机在600 m以浅的稳定地层钻进效率高、节省施工周期、综合经济成本低。但是随着钻孔深度增加,轻便钻机提下钻时间长的问题逐步显现出来。以1000 m钻孔为例,钻机常规配备的钻杆为1.5 m长,全孔约660根钻杆,如图9所示。提、下1根钻杆需要约45 s,提、下一次大钻时间为16~18 h。钻杆摆放与孔口对正作业都为人工操作,钻工作业强度大,不利于安全施工。此外,由于轻便钻机动力头扭矩小,导致了钻机处理事故的能力较弱。为促进轻便钻机在深孔中更好地发挥作用,下一步需要开展钻机结构优化、孔口自动化与大扭矩动力头研究等相关工作。



图9 1000 m 钻孔的钻杆  
Fig.9 Drill pipes for 1000m borehole

#### 4 全液压岩心钻机的未来

像社会上很多领域都使用机器人一样,全液压岩心钻机的发展也会朝着智能化、高效化、绿色化方向前进<sup>[15-19]</sup>。

(1)随着自动化技术和人工智能的不断进步,全液压岩心钻机将配备更先进的智能控制系统。这将使其能够实现自动识别地层情况、制定钻进参数、故障诊断和预警,以及远程操控,大大提高作业的精度和效率,减少人为操作失误。

(2)未来的全液压岩心钻机将拥有更强大的动力系统 and 更优化的钻机结构,能够在更复杂的地质

条件下快速、稳定地钻进,缩短钻探周期。同时,通过改进液压系统和传动装置,减少能量损耗,提高能源利用率。

(3)为了适应全球对环境保护的严格要求,全液压岩心钻机将致力于降低能耗和减少污染物排放。采用新型的节能技术和环保材料,减少噪声和振动,以降低对周边环境的影响。

### 参考文献(References):

- [1] 李社育,董朝晖,王龙.XDL-1800型全液压岩心钻机的研发[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):8-11.  
LI Sheyu, DONG Zhaohui, WANG Long. Development of XDL-1800 hydraulic core drill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(6):8-11.
- [2] 张金昌,孙建华,谢文卫,等.2000 m全液压岩心钻探技术装备示范工程[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(3):1-7.  
ZHANG Jinchang, SUN Jianhua, XIE Wenwei, et al. A demonstration project of 2000m hydraulic core drilling equipment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(3):1-7.
- [3] 张金昌,刘凡柏,冉恒谦,等.2000 m地质岩心钻探关键技术与装备[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):3-8.  
ZHANG Jinchang, LIU Fanbai, RAN Hengqian, et al. Key technology and equipment of 2000m core drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(1):3-6.
- [4] 王繁荣.XD系列全液压力头岩心钻机的研制和应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):43-46.  
WANG Fanrong. Development of XD series fully hydraulic driving core drill and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(12):43-46.
- [5] 刘凡柏,王庆晓,李文秀,等.YDX-2型全液压岩心钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):32-35.  
LIU Fanbai, WANG Qingxiao, LI Wenxiu, et al. Development of YDX-2 all hydraulic core drill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(9):32-35.
- [6] 侯庆国.XD-3型全液压力头式岩心钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007(8):27-30.  
HOU Qingguo. Research and application of XD-3 all hydraulic top drive core drill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(8):27-30.
- [7] 李海金,陈贵清.液压与气动技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2015.  
LI Haijin, CHEN Guiqing. Hydraulic and Pneumatic Technology [M]. Beijing: Beijing Aerospace Press, 2015.
- [8] 武汉地质学院.岩心钻探设备及设计原理[M].北京:地质出版社,1980.  
Wuhan Institute of Geology. Core Drilling Equipment and Design Principles[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980.
- [9] 孙友宏,薛军.液压力头岩心钻机设计与使用[M].北京:地质出版社,2011.  
SUN Youhong, XUE Jun. Design and Use of Hydraulic Power Head Core Drill[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [10] 高鹏举,董耀.基于ANSYS Workbench的轻便岩心钻机动力头有限元分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):20-25.  
GAO Pengju, DONG Yao. Finite element analysis on the power head of portable core drill based on ANSYS workbench [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(9):20-25.
- [11] 李文秀,孟义泉,董向宇,等.YDX-1型轻便岩心钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):8-14.  
LI Wenxiu, MENG Yiquan, DONG Xiangyu, et al. Development of YDX-1 portable core drill and its application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):8-14.
- [12] 刘蓓,寇少磊,朱芝同,等.便携式模块化钻机在绿色地质勘查工作中的应用实践[J].钻探工程,2022,49(2):30-39.  
LIU Bei, KOU Shaolei, ZHU Zhitong, et al. Practical application of the portable modular drill in green geological exploration work [J]. Drilling Engineering, 2022,49(2):30-39.
- [13] 刘蓓,张晨,杨可,等.便携式全液压钻机在秦岭地区地质钻探中的应用[J].钻探工程,2021,48(11):94-103.  
LIU Bei, ZHANG Chen, YANG Ke, et al. Application of the portable full hydraulic drill in geological drilling in the Qinling region [J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):94-103.
- [14] DB43/T 2373—2022,绿色勘查技术地质钻探技术规范[S].  
DB43/T 2373—2022, Specification of geological drilling for green exploration survey and mineral exploration[S].
- [15] 刘跃进.岩心钻探设备的现状与发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1):39-43.  
LIU Yuejin. Present state and development of core drilling machine [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(1):39-43.
- [16] 张林霞,李艺,周红军.我国地质找矿钻探技术装备现状及发展趋势分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):1-8.  
ZHANG Linxia, LI Yi, ZHOU Hongjun. Analysis on the present situation of drilling technical equipment and the development trend of geological prospecting in China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(2):1-8.
- [17] 张伟.关于我国地质岩心钻机发展方向的分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):1-5.  
ZHANG Wei. Analysis on the development trend of geological core drill in China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(8):1-5.
- [18] 薛倩冰,张金昌.智能化自动化钻探技术与装备发展概述[J].钻探工程,2020,47(4):9-14.  
XUE Qianbing, ZHANG Jinchang. Advances in intelligent automatic drilling technologies and equipment [J]. Drilling Engineering, 2020,47(4):9-14.
- [19] 张永勤.论地质钻探技术的担当使命及智能化与绿色发展[J].钻探工程,2023,50(1):5-9.  
ZHANG Yongqin. Discussion on aspiration and mission and AI & green development of the drilling techniques [J]. Drilling Engineering, 2023,50(1):5-9.

(编辑 王文)