

HRD800F型水平岩心钻机动力头的研制

林下斌, 黄海游, 李勇

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734)

摘要: 自然资源部找矿办装备组开展了找矿装备调研和国内外找矿技术装备对比分析研究。结果表明, 历经数十年积累, 我国勘查技术装备的发展虽然取得了进步, 但仍存在一些短板和挑战。总体上, 目前我国地勘队伍装备陈旧, 绿色先进装备配备少, 先进仪器设备以进口为主, 国内研发保障能力不足, 装备产业化水平不高, 野外生活安全保障条件差, 亟需加强找矿装备建设, 支撑全面推进绿色勘查, 满足新一轮找矿突破战略行动的找矿装备新需求。自然资源部中国地质调查局率先加快构建现代化野外条件保障体系, 先后制定了《关于加强地质调查野外综合保障基地使用的指导意见》等制度文件, 主要任务是推动绿色勘查、缩短与国外先进装备水平的差距。为适应新一轮战略找矿行动和国家重大工程勘察精细化对装备的要求, 我们研制了HRD800F型水平岩心钻机。动力头是岩心钻机的关键部件, 本文阐述了该型号岩心钻机动力头设计方案和设计过程以及测试过程, 并总结了该动力头的性能特点。

关键词: 找矿战略行动; 岩心钻探; 岩心钻机; 动力头; 变速箱; 液压卡盘; 扭矩

中图分类号: P634.3⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0216-06

Development of power head for HRD800F horizontal core drill

LIN Xiabin, HUANG Haiyou, LI Yong

(Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: The Equipment Organization of the Mineral Exploration Office of the Ministry of Natural Resources has conducted research on mineral exploration equipment and comparative analysis of mineral exploration technology and equipment at home and abroad. The results indicate that after decades of accumulation, although progress has been made in the development of exploration technology and equipment in China, there are still some shortcomings and challenges. Overall, the current geological exploration team in China is equipped with outdated equipments, limited green advanced equipments, and mainly imported advanced instruments and equipment. The domestic research and development support capacity is insufficient, the level of equipment industrialization is not high, and the safety guarantee conditions for field life are poor. It is urgent to strengthen the construction of mineral exploration equipments, support the comprehensive promotion of green exploration, and meet the new demand for mineral exploration equipment in the new round of breakthrough strategic actions. The China Geological Survey Bureau of the Ministry of Natural Resources has taken the lead in accelerating the construction of a modern field condition guarantee system, and has successively formulated institutional documents such as the Guiding Opinions on Strengthening the Use of Geological Survey Field Comprehensive Support Bases. The main task is to promote green exploration and shorten the gap with advanced equipment levels abroad. To meet the requirements of the new round of strategic mineral exploration and the refinement of national major engineering surveys, the HRD800F horizontal core drill was developed. The power head is a key component of a core drilling rig. This article elaborates on the design scheme, design process, and testing process of the power head for this type of core drill, and summarizes the performance characteristics of the power head.

Key words: strategic mining actions; core drilling; core drill; power head; gearbox; hydraulic chuck; torque

收稿日期: 2024-05-17 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.032

第一作者: 林下斌, 男, 汉族, 1980年生, 工程师, 探矿工程专业, 硕士, 主要从事水平定向岩心钻机研究工作, 四川省成都市郫都区现代工业港港华路139号, 286225191@qq.com。

引用格式: 林下斌, 黄海游, 李勇. HRD800F型水平岩心钻机动力头的研制[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 216-221.

LIN Xiabin, HUANG Haiyou, LI Yong. Development of power head for HRD800F horizontal core drill[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 216-221.

0 引言

液压岩心钻机专门为绿色地质找矿勘探、水利水电和隧道带状工程勘查取心勘探作业而设计制造,是新一代的钻探设备,具有模块化设计、动力系统集成化控制、液压自动化程度高、钻进效率高、无级调速、给进行程长、操控性能好、运输便捷等特点,尤其适合于地形复杂、交通不便的山区、林地、高原地区的中深孔岩心钻探勘查施工^[1-3]。适用于金刚石绳索取心、定向钻进等多种高效钻探工艺方法。主要应用于地质、煤炭、冶金、有色、水文和工程地质等行业涉及的矿产资源勘查、工程地质勘察、环境地质等领域,也可用于水利水电勘察、铁路公路隧道勘察、锚固、超前地质预报等钻探工程。特别适合新一轮找矿突破战略行动中的地形复杂、交通不便的山区、林地、高原地区的固体矿产取心勘探工作。

现阶段找矿突破战略行动已经全面展开,预计2024年钻探工作量大约有100万m,勘查项目增多,大量的钻探工作需要展开,现有设备不能满足施工需要,为此我们研制了HRD800F型水平岩心钻机,其参数见表1。

钻机动力头是岩心钻机的核心部件,是钻机的回转机构,也是整个钻机成败的关键^[4]。本文将对动力头的研制进行详细介绍。

1 动力头总体设计方案

1.1 动力头设计要求

动力头是HRD800F型心钻机的核心部件,其主要功能是带动钻具回转,为钻头有效破碎岩石提供合理的转速和转矩。对动力头的设计要求主要包括:

(1)动力头的转速和转矩要适应孔内钻进情况变化的需要,钻进过程由于岩层性质,钻孔直径,钻进方法和钻进规程的变化,钻头钻取岩心的转速和转矩也随之变化。要求动力头具备4挡手动调速,且在档内能无级调速,从而具备较宽的调速范围,能很好适应不同钻进工艺需求。

(2)动力头应具有反向旋转的功能,以满足卸扣、处理钻孔事故和其他辅助工作的需求。

(3)动力头主轴应为中空结构,满足P、H、N三种口径绳索钻杆通过需求。

(4)动力头的回转运动应平稳,各零部件结构

表1 HRD800F水平岩心钻机参数

钻机型号		HRD800F
钻进能力	BQ(55.6 mm)	1200 m
	NQ(71 mm)	800 m
	HQ(89 mm)	500 m
	PQ(114 mm)	300 m
动力头	扭矩	0~4200 N·m
	转速	0~1182 r/min
	卡盘最大通径	Ø117 mm
液压系统	额定压力	28 MPa
	冷却方式	风冷
动力站	型号	康明斯 QSB5.9-C180-31
	类型	自然吸气
	额定功率	132 kW
	额定转速	2400 r/min
绳索取心 卷扬	提升力	11 kN
	提升速度	120 m/min
	钢丝绳直径	6.6 mm
	容绳量	≤1300 m
桅杆	给进/起拔行程	1.8 m
	最大给进力/起拔力	55 kN/120 kN
	钻进角度	0°~90°
	前夹持器最大通径	Ø130 mm
整机总质量		<5.5 t
运输尺寸 (长×宽×高)	主机	5600 mm×1100 mm×1800 mm
	动力站	2200 mm×1100 mm×1800 mm
	操纵台	770 mm×460 mm×900 mm

安全可靠,其振动、噪声要小^[5]。

依据整机主要技术参数,确定该钻机动力头主要技术参数为:输出扭矩0~4200 N·m,系统压力28 MPa,主轴转速0~1182 r/min,提升能力120 kN。

1.2 动力头钻机方案

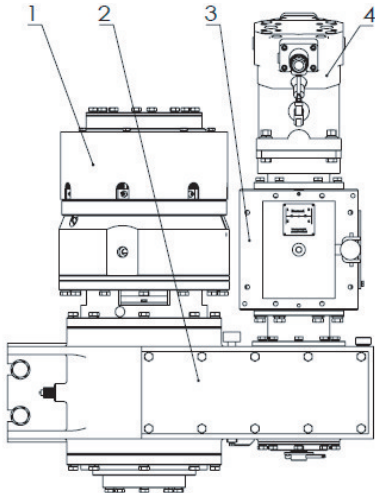
根据动力头的设计要求和输出转速、扭矩范围,HRD800F型钻机动力头的总体方案设计为单液压马达,4挡手动变速箱,二级减速箱,液压卡盘的设计方案。

采用柱塞液控变量马达驱动的4挡手动变速箱,液压控制马达排量与变速箱机械换挡相结合,实现20~1182 r/min输出,挡内无级调速。动力头

主轴(输出轴)采用大通径中空结构,钻杆柱能从中通过,以实现快速起下钻。主轴后端设置液压卡盘,液压卡盘设计为往复液压缸楔形夹紧卡瓦结构,卡瓦动作灵活,夹持钻杆牢固可靠,液压缸设置高压油实时补偿系统,在卡瓦和钻杆磨损的情况下能补偿夹紧^[6-11]。

1.3 动力头结构组成

动力头结构组成如图1所示,主要由液压马达、变速箱、齿轮减速箱和液压卡盘等四部分组成。液压马达作为动力头的原动件,要求能够双向旋转,并能够在一定范围内无级调速。液压卡盘直接安装在减速箱的输出轴上,液压卡盘采用“液压打开—机械夹紧”的工作模式。



1—液压卡盘;2—减速箱;3—变速器;4—液压马达

图1 动力头结构示意图

2 动力头主要部件和设计计算

2.1 动力头液压马达选型计算

液压马达在变速箱处于一档下可实现动力头的最大输出扭矩 T_{\max} 为 4200 N·m,而在四挡下实现动力头的最大输出转速 1182 r/min,为兼顾大扭矩与高转速,选用轴向柱塞液压马达,工作压力 p_{motor} 设定为 30 MPa,液压马达机械效率 η_m 为 0.93,变速箱与动力头综合机械效率 η_g 取 0.92,由此可得液压马达计算排量为:

$$V_{\text{motor}} = \frac{T_{\max} 20\pi}{p \eta_m \eta_g i_4} = 52.7 \left(\frac{\text{mL}}{\text{r}} \right) \quad (1)$$

因设计有手动变速箱,液压马达无需变量进行速度转换,故上述计算结果圆整后,选用排量为 55

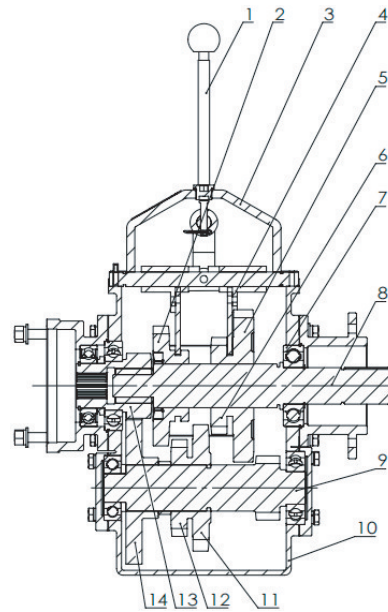
mL/r 的定量轴向柱塞液压马达^[12-13],技术参数如表2。

表2 液压马达技术参数

排量/(mL·r ⁻¹)	额定转速/(r·min ⁻¹)	额定工作压力/MPa	理论额定扭矩/(N·m)
55	4450	30	350

2.2 动力头变速箱

动力头变速箱结构如图2所示。



1—换挡手柄;2—III档从动齿轮;3—拨叉盖;4—拨叉;5—输出从动齿轮;6—II档从动齿轮;7—轴承;8—输出轴;9—齿轮轴;10—壳体;11—II档主动齿轮;12—III档主动齿轮;13—I档主动齿轮;14—I档从动齿轮;

图2 4挡变速箱机构简图

液压马达经由变速箱以及传动比为 3.125 的减速箱后,可输出岩心钻进需要的主轴转速^[14-16]。

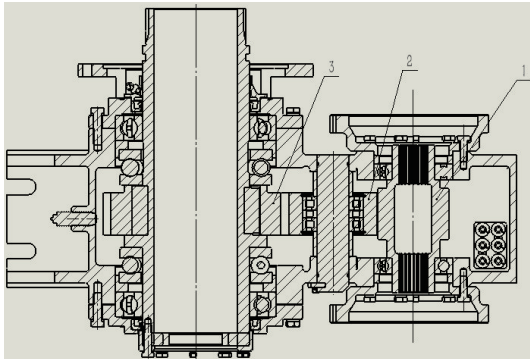
变速箱各挡位速比及转速见表3。

表3 动力头技术参数与转速

变速箱挡位	减速比 i	主轴转速/(r·min ⁻¹)	马达转速/(r·min ⁻¹)
一档	6.25	190	3711
二档	3.125	378	3691
三档	1.757	675	3706
四档	1	1182	3631

2.3 动力头减速箱设计

动力头减速箱结构设计见图 3。



1—齿轮 1;2—齿轮 2;3—齿轮 3

图 3 动力头减速箱结构

对关键齿轮 2 和齿轮 3 展开计算, 齿轮计算过程如下:

接触疲劳计算安全系数 S_H :

$$S_H = \frac{\sigma_{HLim} Z_{NT} Z_L Z_V Z_R Z_R Z_W Z_X}{Z_B Z_H Z_E Z_\epsilon Z_\beta \sqrt{K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha}}} \times \sqrt{\frac{dbu}{F_t(1+u)}} \quad (2)$$

弯曲强度计算安全系数 S_F :

$$S_F = \frac{\sigma_{FLim} Y_{ST} Y_{NT} Y_L Y_V Y_R ZY_R Z_W Z_X}{Y_{Fa} Y_{Sa} Y_\epsilon Y_\beta K_A K_V K_{H\beta} K_{H\alpha} F_t} \quad (3)$$

两表达式中符号名称、取值以及计算结果如图 4 所示^[17]。

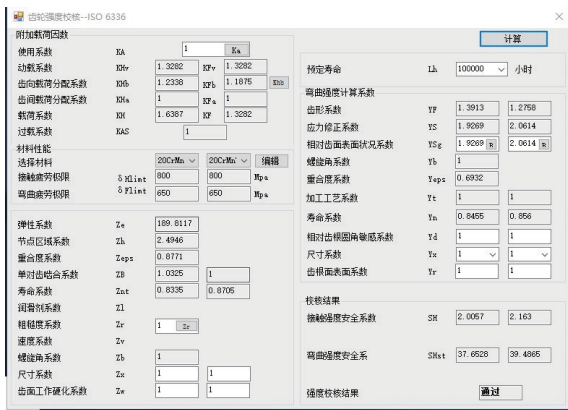


图 4 齿轮 2 和齿轮 3 计算结果

2.4 液压卡盘结构和计算

液压卡盘采用“碟簧夹紧—液压打开”常闭式设计。具体液压卡盘结构如图 5。

碟形弹簧的体积小, 安装方便, 自身的转动惯

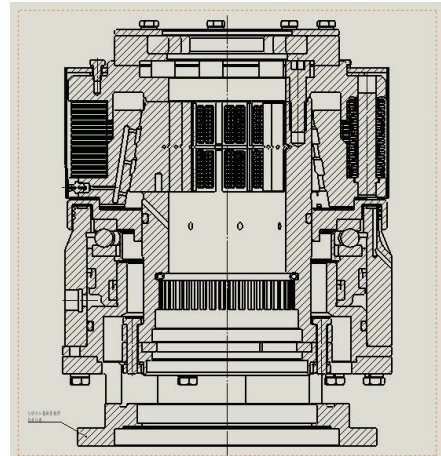


图 5 液压卡盘结构

量小, 适合高速平稳旋转。依据结构确定碟簧, 碟簧 $D=35.5$; 单组碟簧变形量 $h_0=3.7$; 单组碟簧厚度 $t=81.2$ 。

依据公式:

$$F_0 = P_c = \frac{4E}{1-u^2} \cdot \frac{t^3 h_0}{K_1 D^2} K_4^2 \quad (4)$$

式中: E ——弹性模量, MPa; μ ——泊松比; K_4 ——计算系数。

计算出单组碟簧轴向推力为 $F_0=5.3$ kN, 21 组碟簧叠加后轴向推力 $F=112$ kN;

卡盘受力模型如下图 6 所示。

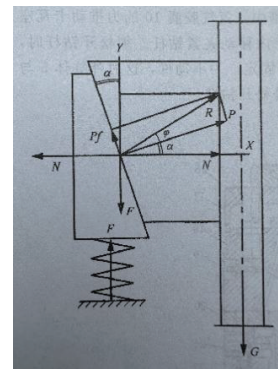


图 6 液压卡盘受力简图

依据简化受力模型, 推导出公式:

$$F = kG \frac{\tan(\alpha + \varphi)}{f'} \quad (5)$$

$$G = \frac{f' F}{k \tan(\alpha + \varphi)} \quad (6)$$

式中: G ——卡盘轴向载荷; F ——碟簧轴向推力; φ

——斜面间摩擦角; k ——安全系数^[18-22]。

$$\alpha = 9^\circ; \varphi = 8^\circ 32'; K = 1.45; f' = 0.5。$$

计算出 $G=130$ kN, 满足 120 kN 起拔力要求。

3 动力头扭矩测试

在 CST10000 型扭矩转速测试台上进行了扭矩测试(图 7、图 8), 测试时动力头变速箱处于 1 挡, 通过测试台的磁粉制动器产生负载扭矩, 缓慢加载至目标扭矩值后再卸载, 最终得到了图 9 所示的扭矩测试结果, 由于采样仪器的采样间隔为 1 s, 为简化图线, 故应对数据进行了筛选处理, 每 10 s 取一次数值, 通过寻找原始数据, 发现钻机扭矩能达到的峰值为 4374 N·m, 满足设计指标。



图 7 CST10000 扭矩转速测试台



图 8 动力头扭矩测试

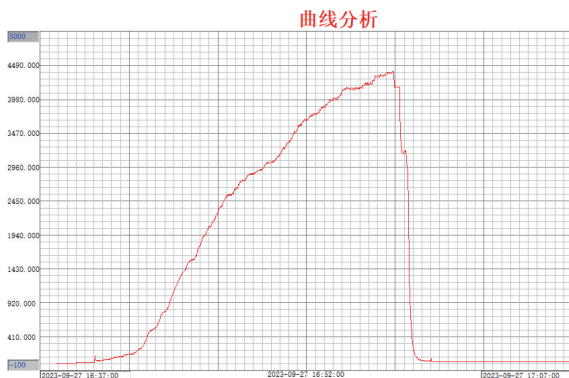


图 9 动力头实测扭矩曲线

通过扭矩测试平台, 实测动力头峰值扭矩 4374 N·m, 大于 4200 N·m 设计要求, 满足动力头装机要求。

4 动力头装机后实际钻孔测试

动力头装机后我们在四川省成都市红光镇现代工业港港华路 139 号院内进行了花岗岩实际钻孔测试。实际钻孔测试如图 10~12 所示。



图 10 水平孔钻孔测试



图 11 水平孔钻孔测试 图 11 斜孔钻孔测试



图 12 钻获岩心

实际钻孔测试数据见表 4。

通过实际钻孔测试, 动力头工作稳定可靠, 达

表4 实际钻孔测试记录

序号	项目	数据	备注
1	钻头编号	D-Z-1	
2	钻头类型及规格	15~20度热压 金刚石钻头	
3	试验孔数	2	
4	水平孔		测温测噪 无异常
	水平孔进尺/m	1.3	
	岩心采取长度/m	1.15	
	岩心采取/%	87	
	纯钻进时间/min	20	
5	45°斜孔		测温测噪 无异常
	斜孔进尺/m	1.8	
	岩心采取长度/m	1.52	
	岩心采取/%	85	
	纯钻进时间/min	28	
6	平均机械钻数/ (m·h ⁻¹)	3.9	
	平均机械钻数/ (m·h ⁻¹)	3.85	
6	钻头磨损	磨损正常	

到装机要求。

5 结论

各项测试结果证明,为HRD800F型水平岩心钻机配套研制的动力头各项功能指标达到设计要求。该动力头具有以下特点:

(1)动力头整体结构设计合理,液控变量马达并结合4挡变速箱,使动力头具备很宽的调速范围,适应能力强,可以很好满足不同工况需求。

(2)实测峰值扭矩高达4374 N·m,为钻深水平800 m(N口径),垂孔1000 m(N口径)提供保障。强大的扭矩可以使钻机处理各类孔内事故。

(3)在空载测试和实际钻孔测试过程中,动力头温升可控,均未超过80℃限值,没有出现过热现象,能够长时间稳定可靠工作。

(4)在实际钻进过程中不论是水平状态还是斜孔钻进状态,动力头均未出现漏油现象,证明动力头各类密封设计可靠。

(5)在实际钻进过程中,不论是钻杆上卸扣还是正常钻机工程中液压卡盘均未出现打滑现象,液压卡盘夹持可靠。

(6)动力头夹持钻杆在高速档位下,跳动小,符合金刚石岩心钻探工艺要求。

动力头经实际钻孔测试具备装机条件,可以批量生产装机,为战略找矿行动提供高效、绿色、智能钻探设备。

参考文献:

- [1] 王玉吉.全液压力头岩心钻机选型分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):68-70,75.
- [2] 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.
- [3] 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):93-102.
- [4] 黄晓林,耿晓西,吴金生.GXD-5S型水平岩心钻机动力头的设计与分析[J].地质装备,2022(2):9-14.
- [5] 孙友宏,薛军,夏志明,等.液压力头岩心钻机设计与使用[M].北京:地质出版社,2011.
- [6] 于雪林,于萍,朱玉江,JDY-1500型全液压钻机卡盘的仿真分析及设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):22-24.
- [7] 白祖卫,王顺平,黄军航.XDQ-120型钻机动力头的优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):42-44.
- [8] 王嘉伟,江进国,黄晓林.YDX-1200L岩心钻机动力头变速箱体优化设计[J].湖南科技大学学报,2013(4):22-25.
- [9] 周亚军.浅谈岩心钻机回转器的改进[J].地质装备,2013(6):15-16.
- [10] 刘祺.煤矿车载钻机大扭矩回转器的设计与应用[J].煤矿机械,2016,41(5):149-151.
- [11] 阮绍刚,李学忠.新型复合技术动力头的设计研究[J].煤矿机械,2020,41(5):15-16.
- [12] 谭玉山,王金友,林宝飞,等.液压力头岩心钻机的负载敏感液压回路[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):32-34.
- [13] 刘旭光,盛海星,王敏.XDQ-1200型全液压轻型岩心钻机电液控制系统设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):49-52.
- [14] 熊麟,陈礼仪,吴飞.钻机变速箱齿轮的ANSYS分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(4):43-46.
- [15] 郝少楠.定向钻机泥浆泵用四挡变速箱设计研究[J].煤矿机械,2023,42(9):49-52.
- [16] 杨康.QZ100KJS型钻机减速箱的研制[J].矿业研究与开发,2019,23(2):24-25.
- [17] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,1993.
- [18] 郑超.钻机液压卡盘设计——小碟簧斜面多滚柱减摩式卡盘分析[J].矿产地质研究院学报,1985(4):155-159.
- [19] 李学忠.钻机全液压卡盘研究[J].煤矿机械,2015,36(12):155-156.
- [20] 章兼植.液压卡盘设计计算中的若干问题[J].矿产地质研究院学报1984(1):84-91.
- [21] 周亚军.液压卡盘的工作原理及主要参数的设计[J].地质装备,2011,12(1):17-22.
- [22] 彭涛.斜面增力式液压卡盘的设计与应用[J].煤矿安全,2019,50(3):117-120.

(编辑 王文)