

声频环保钻机液压系统设计与应用

吴浩^{1,2}

(1. 中国煤炭地质总局第二勘探局, 河北涿州 072750; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要: 声频环保钻机是一种高端土壤调查取样装备, 钻机液压动力头产生高频激振力驱动钻具克服浅部地层阻力, 使钻具周围地层发生局部液化进而快速获取高质量的地层原状样品。本文在提出 50 m 声频环保钻机主要设计参数的基础上, 对钻机液压系统设计方案进行分析, 选定了开式液压系统以简化系统油路结构。液压系统采用主油路和辅油路的控制方案, 主油路驱动动力头振动、回转、给进和履带行走等动作, 辅油路驱动支腿调平、桅杆起落和桅杆滑移等动作。对液压系统参数进行了设计计算, 选定钻机液压系统工作压力为 21 MPa, 计算主油路总流量为 320 L/min, 据此确定了发动机的功率及型号, 然后安装调试液压系统并进行了参数检测。在此基础上, 开展了钻机在土壤采样中的应用推广, 包括大直径双管采样、半合管采样以及复杂地层采样, 取样效果良好。钻机液压系统工作稳定, 安全可靠, 液压管线排布美观, 操控灵活方便, 能够满足工程应用要求。

关键词: 声频环保钻机; 液压系统; 土壤采样; 大直径双管; 半合管钻具

中图分类号: P634.3; TH137.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)01-0076-08

Design and application of the hydraulic system of sonic drill rig

WU Hao^{1,2}

(1. *The Second Exploration Bureau of China National Administration of Coal Geology, Zhuozhou Hebei 072750, China;*
2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: Sonic drill rig is high-end soil sampling equipment. The hydraulic top-drive head of the drill rig generates high-frequency exciting forces to drive the drilling tool to overcome the resistance of shallow formation so as to make the formation around the drilling tool liquefied locally, and then quickly obtain high-quality undisturbed samples from formation. Based on the main design parameters of the 50m sonic drill rig, the open hydraulic system was selected to simplify the oil circuit structure of the system through analysis of the hydraulic system design of the drill rig, The hydraulic system adopted the control plan of the main hydraulic circuit and the auxiliary hydraulic circuit, where the main hydraulic circuit drives the vibration, rotation and feeding of the top head, and crawler walking; the auxiliary hydraulic circuit drives the leveling of jack legs, putting up and putting down, and sliding of the mast. The parameters of the hydraulic system were designed and calculated with the working pressure of the hydraulic system of the drill rig selected as 21MPa, and the total flow of the main hydraulic circuit calculated as 320L/min. Therefore, the engine was determined. Then the hydraulic system was installed and debugged, and the drill rig was tested. On this basis, the sampling application and promotion of the drill rig, includes sampling with large diameter double-layered tube and split-tube and sampling in complex formation, was carried out with good sampling results. The hydraulic system of the drilling rig is stable, safe and reliable, with beautiful hydraulic line layout, flexible and convenient operation, which can meet the requirements of engineering application.

Key words: sonic drill rig; hydraulic system; soil sampling; large diameter double-layered tube; split-tube drilling tool

改革开放 40 多年来,我国取得了令世界瞩目的成就,但随之而来的是严重的环境污染问题,其中土壤污染问题突出。为了更好地开展土壤调查及环境修复工作,用于环境调查取样的环保钻机

收稿日期:2021-11-10; 修回日期:2022-04-12 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.01.012

作者简介:吴浩,男,汉族,1984年生,博士在读,高级工程师,地质工程专业,硕士,从事系列环保钻机研制及推广应用工作,河北省涿州市范阳西路50号,wuh1984@126.com。

引用格式:吴浩.声频环保钻机液压系统设计与应用[J].钻探工程,2023,50(1):76-83.

WU Hao. Design and application of the hydraulic system of sonic drill rig[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1):76-83.

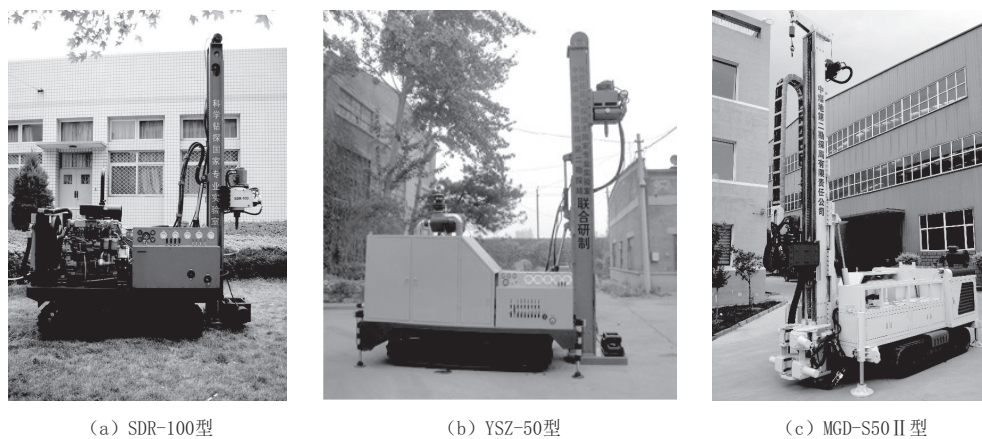
日益受到国家及行业的重视,一些地勘装备制造企业掀起了对环保钻机的研发热潮。

声频振动环保钻机依靠液动力头产生高频激振力驱动钻具克服浅部地层阻力,使钻具周围地层发生局部液化,能够快速钻进地层并取样。由于钻进过程中不用水、泥浆和空气等介质,绿色环保,能够获取高质量的原状地层样品,取样直径大、钻进速度快,尤其适合于回填土、粘土、粉土和粉砂等地层,在污染场地调查、环境监测井施工、农业地质调查、水域沉积物调查、岩土工程勘察、地基加固工程和浅层地源热泵施工等领域得到了应用推广^[1-6]。

国外目前已有多家声频振动钻机制造商,如荷兰 SonicSampDrill 公司,美国 Sonic Drill 公司、Geoprobe system 公司、Boart longyear 公司、Versa-Drill 公司、Gus Pech 公司,加拿大 Sonic Drilling 公司以及日本利根公司等。这些公司已经生产出了成熟的定

型产品。国外声频振动钻机具有如下特点:(1)形成不同深度的系列化产品。(2)钻机普遍采用机电液一体化技术,自动化、智能化程度高,如采用自动接钻杆技术减轻了人工劳动强度。有些钻机采用无线遥控技术控制钻机行走和钻进作业,提高了钻机运输和钻进过程中的安全性。(3)钻机的装载方式多样化。(4)配套钻杆钻具齐全。

国内声频振动钻机(见图1)研制起步较晚,2007年中国地质大学(北京)研制成功我国首台 SDR-100 型声频振动钻机(图1a),设计深度 30 m。钻机采用 3 个液压泵的多泵-多系统,一个负载敏感变量泵控制钻机的振动机构、回转机构、行走机构液压回路,一个恒压变量泵控制钻机的给进机构、夹持机构、桅杆起落机构和绞车机构液压回路,一个齿轮泵控制泥浆泵液压回路,液压系统较为复杂,管路联接较为繁琐,缺少液压支腿控制回路^[7]。



(a) SDR-100型

(b) YSZ-50型

(c) MGD-S50 II 型

图1 声频振动钻机

Fig.1 Sonic drill rig

在此基础上,2011年中国煤炭地质总局第二勘探局与中国地质大学(北京)联合研制成功 YSZ-50 型声频振动钻机(图1b),设计深度 50 m,最大振动频率 150 Hz,是国内首台钻进深度达 50 m 的声频振动钻机,钻机液压系统采用双泵系统,主泵采用负载敏感变量泵,控制钻机的振动机构、回转机构、行走机构,辅泵采用恒压变量泵,控制钻机的液压支腿、桅杆起落机构、桅杆滑移机构、夹持机构,其中给进油缸采用了主泵、辅泵合流的措施,可以增加给进和提升的速度,但该钻机液压系统由于在一些回路中没有加装平衡阀,导致桅杆起落中发生颤抖,钻机液压系统的稳定性有待提高。由于加装了手动调速阀

和调压阀,液压系统的集成度不高,缺少先导控制技术,安全性与操控舒适度方面有待提高^[8]。

在 YSZ-50 型声频振动钻机试验及工程应用的基础上,2015年中国煤炭地质总局第二勘探局优化改进液压系统,引入先导控制技术,研制成功 MGD-S50 II 型声频振动钻机(图1c),对液压系统功率进行优化,提升了液压系统的集成度和美观度^[9]。

1 50 m 声频环保钻机主要参数

调研国外同类型声频环保钻机的技术参数,设定声频振动环保钻机的主要技术参数如下。

(1) 钻探能力: 钻孔深度 50 m, 终孔直径 115 mm, 钻杆直径 50 mm。

(2) 声频动力头振动参数: 振动频率 0~150 Hz, 最大振动力 100 kN。

(3) 声频动力头回转参数: 转速 0~250 r/min, 最大扭矩 2100 N·m。

(4) 给进参数: 给进行程 3100 mm, 单根钻杆长度 2.0 m, 给进力 29 kN, 给进速度 0.1 m/s, 提升力 64 kN, 提升速度 0.34 m/s。

(5) 行走参数: 行走速度 2.5 km/h, 牵引力 38.1 kN, 爬坡能力 18°。

2 液压系统设计分析

该钻机采用全液压驱动, 为完成整机设计目标, 简化液压系统结构, 钻机液压系统采用开式系统, 包括 1 个主油路和 1 个辅油路。主油路驱动动力头的振动、回转、给进、夹持、履带行走和液压绞车等动作, 主要满足钻探取样作业的要求。主油路采用负载敏感控制系统。钻探过程中, 随着钻深的增加, 负载不断增加, 负载敏感控制技术能使泵的输出压力和流量自动适应负载需求, 使液压功率与系统达到最佳匹配要求, 从而减少系统发热, 大幅提高液压系统效率^[10-13], 主油路液压原理见图 2。

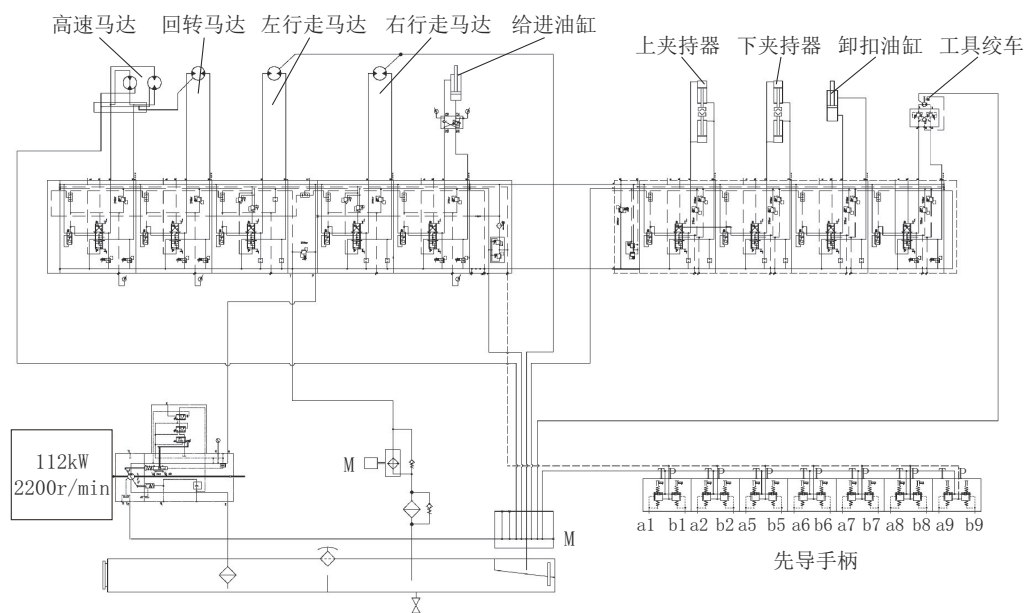


图 2 主油路液压原理

Fig.2 Hydraulic schematic diagram of the main oil circuit

辅油路驱动钻机在作业前的支腿调平、桅杆起落和桅杆滑移的辅助动作。辅油路液压原理见图 3。

下面着重分析主油路和辅油路的主要工况。

2.1 动力头振动

动力头振动是该钻机的关键动作, 通过 2 个高速液压马达分别驱动 2 根偏心轴作反向高速旋转, 使声频动力头带动钻杆产生高频振动进行钻进或取样作业^[14]。

高速液压马达的负载随着地层的软硬变化而变化。地层坚硬时, 液压马达的负载增大, 需调节液压系统, 增大液压马达的流量, 增加液压马达的转速; 地层松软时, 液压马达的负载减小, 需减小液压马达

的流量, 减小液压马达的转速。即高速液压马达的流量需要随着负载的变化进行调节。所以, 选用变量泵-定量马达的组合方式能够满足工况要求^[15-16]。

变量泵输出流量通过阀块平分给 2 个高速液压马达, 由于 2 个马达旋转方向相反, 故连接的两个液压马达的进、出油口正好相反; 2 个马达的回油合流后通过冷却器流回油箱, 2 个马达的泄油口也合流后直接回油箱。

2.2 动力头回转

动力头回转主要通过动力头上端安装的回转马达带动动力头输出轴旋转, 实现拧卸钻杆、处理孔内事故、实现回转钻探工艺以及振动+回转的联合钻探工艺。一般要求有较大扭矩并能无极调节, 同时

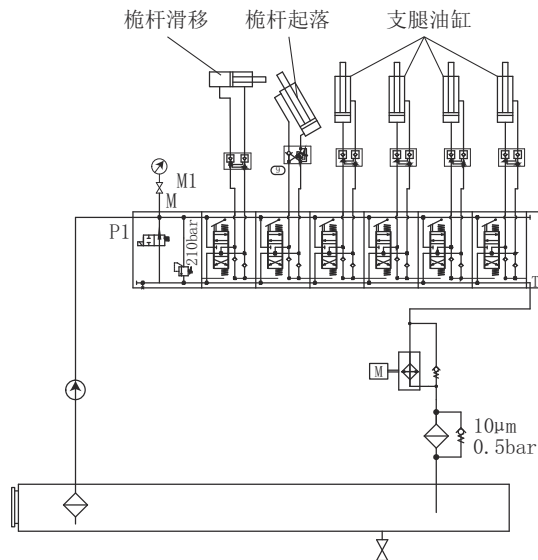


图3 辅油路液压原理

Fig.3 Hydraulic schematic diagram of the auxiliary oil circuit

能实现正、反方向回转等。因此回转工况常用基本回路有调压-限压回路、换向回路等。本钻机通过多路阀上的溢流阀来限定回转工况的最大工作负载。回转马达采用低速大扭矩的摆线马达,该马达零件少、结构紧凑、体积小、质量轻,且转动惯性小、成本低、过滤精度要求不高,适合该钻机使用^[17]。

回转液压马达的负载同样随着地层的软硬变化而变化,这种工况决定液压系统也要采用变量泵-定量马达的组合方式。

2.3 动力头给进

对于本钻机而言,要求给进力能够无级调压,能强力起拔同时兼作升降机构。动力头给进回路采用三位六通换向阀控制给进液压缸,给进时油缸有杆腔进油,提升时油缸无杆腔进油,油缸上增加了平衡阀,确保给进和提升动作的平稳,能够精准操控给进和提升动作。

2.4 履带行走

野外作业时,实现人机分离驾驶能够确保操作人员安全,为此设计采用了有线遥控器控制电磁液压换向阀来控制底盘行走和转向。履带底盘采用两个定量马达驱动,当同时供油给底盘左、右马达时,实现底盘前、后行走;需要拐弯时,控制两联换向阀开合度的一大一小,则底盘形成转向力矩,实现转弯动作。

此外,主油路还引入了先导控制技术,在孔口操作台处设置先导控制手柄实现对各联液压阀组的远距离控制,具有布线灵活,操作安全的特点。

2.5 辅油路

辅油路完成钻机在钻探作业前的支腿调平、桅杆起落和桅杆滑移的辅助动作。工况简单、各动作所需流量恒定,所以选用定量齿轮泵和普通多路换向阀控制,其中桅杆起落过程中,油缸的活塞杆受力复杂,经历由受压到受拉的变化过程,需要采用双向平衡阀来控制桅杆的平稳起落,避免桅杆起落过程中发生抖动现象。

3 液压系统参数选择与计算

3.1 初选系统工作压力

系统压力选定的是否合理,直接关系到整个系统设计的合理程度。在液压系统功率一定的情况下,若系统压力选得过低,则液压元件的尺寸和重量就增加;若系统压力选得较高,则液压设备的重量和尺寸会相应降低。但系统压力不能选用过高,高压对制造精度要求过高。参考国内外同类钻机参数并根据经验,选定钻机的液压系统工作压力为21 MPa^[18]。

3.2 计算主油路流量

主油路最大流量 q 由动力头振动、动力头低速回转和动力头给进(或提升)三者流量之和与履带行走流量的大小比较来确定。

(1)动力头振动所需流量 q_1 :

$$q_1 = v \cdot n \cdot N \cdot \eta_s \quad (1)$$

式中: v ——高速马达排量, mL/r; n ——高速马达转速, r/min; N ——高速马达数量; η_s ——损耗系数,一般取1.2。

设计采用高速马达,排量5 mL/r,转速10800 r/min,2个马达,代入式(1),得 $q_1=130$ L/min。

(2)动力头低速回转所需流量 q_2 :

设计选用国产低速大扭矩马达,排量800 mL/r,低速运转时马达转速为75 r/min,代入式(1),得 $q_2=60$ L/min。

(3)动力头给进(或提升)所需流量 q_3 :

$$q_3 = A \cdot v_{\max} \quad (2)$$

式中: A ——液压缸无杆腔面积, m^2 ; v_{\max} ——液压缸的最大速度,取18 m/min。

钻机选用了FYG90/63-1550型给进液压缸,A取 0.0064 m^2 ,提升时所需流量较大,将相关数据代入式(2),得 $q_3=115.2\text{ L/min}$ 。

(4)履带行走所需流量 q_4 :

根据履带行走速度 2.5 km/h ,计算出单减速机线速度为 0.694 m/s 。

履带行走所需流量计算如下:

$$q_4 = 2v \cdot i \cdot n_j = 2 \cdot \frac{60}{1000} v \cdot i \cdot \frac{v_1}{2\pi r} \quad (3)$$

式中: v ——马达排量,取 51.9 mL/r ; i ——减速机减速比,取 53.706 ; n_j ——减速机转速, r/min ; v_1 ——减速机线速度,取 0.694 m/s ; r ——驱动轮半径,取 0.229 m 。

将数据代入式(3),得 $q_4=160\text{ L/min}$ 。

履带行走所需流量: $q_4 < q_1 + q_2 + q_3 = 305.2\text{ L/min}$ 。

故确定主油路总流量: $q=305.2\text{ L/min}$ 。

3.3 主泵的选型

主泵的流量应能够满足主油路流量的需求,主泵的压力能够随负载的变化而变化。基于此,选用负载敏感变量泵,这种泵具有高效节能的优点。泵的排量计算如下:

$$v_b = \frac{q}{n_f} \quad (4)$$

式中: v_b ——泵的排量, mL/r ; n_f ——发动机额定转速,取 2000 r/min 。

将数据代入式(4),得 $v_b=152.6\text{ mL/r}$,选择力士乐A11VO190型负载敏感变量泵,泵的排量和压力均满足主油路要求。

3.4 计算主油路功率

主油路功率计算如下:

$$P = \Delta p \cdot q / 600 \quad (5)$$

式中: Δp ——压差,取 200 bar ; q ——流量,取 305.2 L/min 。

将上述结果代入式(5),得: $P=101.7\text{ kW}$ 。

3.4 计算辅油路功率

辅油路最大流量 70 L/min ,压差 200 bar ,代入式(5),计算出辅油路功率为 23.3 kW 。

3.5 计算发动机功率

辅油路与主油路不同时工作,辅油路功率比主油路功率小,按主油路确定动力机的总功率,考虑机

械损失,计算公式如下:

$$P_D = \frac{P}{\eta} \quad (6)$$

式中: P_D ——发动机功率, kW ; P ——液压系统功率,取 101.7 kW ; η ——发动机效率,取 0.95 。

计算出发动机功率为 107.1 kW ,选用6BTA5.9-C160型柴油机(功率 118 kW),满足液压系统功率要求。

4 液压系统安装与调试

4.1 液压系统安装

在充分理解液压系统原理图的基础上,按照液压系统管路图对液压系统管路进行安装。液压系统管路安装一般包括如下几个方面:一是从液压油箱到液压泵的管路安装;二是从液压泵到液压阀的管路安装;三是从液压阀到各个执行元件的管路安装。图4为钻机液压系统管路安装的场景。

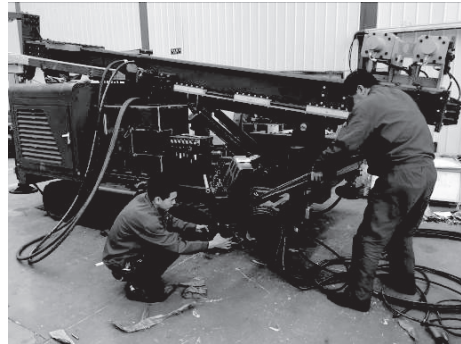


图4 液压系统管路安装

Fig.4 Hydraulic hose installation

4.2 液压系统调试

钻机液压系统调试注意事项如下:(1)调试液压系统时,要将所有螺栓和管路联接都要细致检查,避免出现螺栓未拧紧的现象。(2)要将各组液压阀置于中位,要确保液压油位高出液压泵。(3)所有人员必须穿戴好安全防护设备,所有无关人员必须离开现场,发生危险时,任何一人都可叫停。(4)启动液压泵低速运转,检查液压系统的密封状况,先低压、低速完成各个动作的空载调试,然后逐渐升高发动机转速、逐渐升高液压系统工作压力,遵循逐渐加大负载和流量的原则,并逐步排尽液压系统管路中的空气,最后进行耐压力试验和最大负载试验。

5 钻机液压系统参数检测

钻机制造完成后,委托第三方机构对钻机液压系统主要技术参数进行了检测,检测结果见表1。

表1 钻机主要技术参数检测

Table 1 Main parameters of the drill rig

检测项目	设计值	检测值	允许偏差
液压系统工作压力/MPa	21	21	±2
动力头振动频率/Hz	150	135	±15
动力头激振力/kN	100	105	±5
动力头输出扭矩/(N·m)	2100	2108	±10
动力头回转速度/(r·min ⁻¹)	250	261	±20
动力头给进力/kN	29	32	±5
动力头给进行程/mm	3100	3080	±30
动力头提升力/kN	64	68	±5
钻机行驶速度/(km·h ⁻¹)	2.5	2.8	±0.3

从表1可以看出,钻机各主要技术参数的检测数据均符合设计要求,各项偏差均在允许范围之内,液压系统设计合理。

6 土壤采样应用

6.1 大直径双管采样

中国东部省份对大直径土壤采样有较大需求,为此,研制了大直径塑料管钻具,分为内、外管双管钻具,Ø108 mm外管采用双线螺纹,为梯形扣,Ø50 mm内管采用双线螺纹,梯形扣,该套钻具拧卸速度快。塑料管直径80 mm,并设计了专用钻头。通过江苏常州某地块的调查项目应用来看,这套钻具能够获取大直径土壤样品(图5),1.5 m长度塑料管内的采样质量约13 kg,而Geoprobe 7822DT直推式环取样钻机的最大采样直径为52 mm,采样质量约5.4 kg,Ø80 mm塑料管的采样量是Geoprobe钻机采样量的2.4倍,能够满足平行样、详查和现场检测的采样量需要^[19]。



图5 大直径塑料管样品

Fig.5 Sampling with the large diameter plastic pipe

6.2 半合管采样

在北京某厂区开展了环境地质调查项目。厂区场地平整,地表覆盖草坪,0~1.0 m为回填土,1.0~4.5 m为粉质粘土,4.5~6.0 m为粉砂层。

使用50 m声频环保钻机和Ø108 mm半合管钻具,完整、快速地获取了地层原状样品(图6),得到了业主的肯定。各地层采样钻速和采样率见表2。



图6 地层原状样品

Fig.6 Undisturbed formation sample

表2 不同地层的机械钻速和采取率

Table 2 Drilling rate and recovery in different formation

地层	机械钻速/(m·min ⁻¹)	采取率/%
回填土	3.0	85
粉质粘土	4.5	99
粉砂	2.5	90

从表2可以看出,粉质粘土层的机械钻速最快、取样率最高,而粉砂层的钻进速度最慢,采样率最低,回填土的机械钻速和采取率居中。由此可见,声频振动钻进对于粉质粘土地层有更好的钻进和采样效果。这是由于粉砂层的地层阻力最大,而粉质粘土层的地层阻力最小,回填土层的地层阻力居中的原因。

6.3 复杂地层采样

在遇到流砂、卵石等复杂地层时,单独采用声频振动钻进工艺,无法获得有效的进尺和地层样品。为了解决声频环保钻机在复杂地层中的应用难题,在钻机上加装了泥浆泵和动力头水龙头系统,采用振动+回转的复合钻进工艺,扩大了钻机的地层适用范围。

研制了泥浆泵安装座,置于底盘后端,选用紧凑型液压驱动泥浆泵,置于安装座上方(图7)。通过在液压阀箱中增加一片阀组,从中引出两根油管接到泥浆泵工作油口,即可驱动泥浆泵工作。

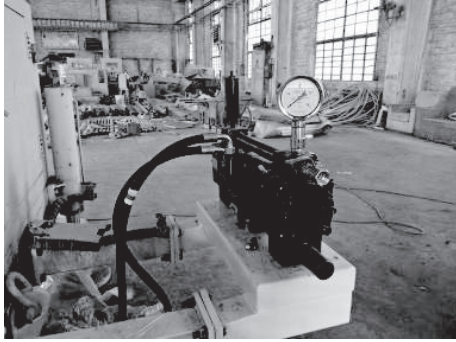


图7 泥浆泵组件

Fig.7 Mud pump assembly

6.3.1 泥浆泵流量计算

选用泥浆泵主要考虑在回转钻进时,能够有效排出岩粉。冲洗液量不足时,岩屑不能及时排出孔底,造成重复破碎,影响钻进效率。冲洗液量过大时,又会造成孔壁破坏和岩心破碎,一般冲洗液量的计算公式如下:

$$Q = 15000\pi\beta(D^2 - d^2)v \quad (7)$$

式中: Q ——冲洗液量, L/min; β ——上返速度不均匀系数,取 1.1; D ——由最大钻头外径决定的孔径或最大套管内径,取 0.095 m; d ——钻杆外径,取 0.053 m; v ——冲洗液上返流速,取 0.32 m/s。

代入式(7),得 $Q=103$ L/min,所以选用泥浆泵的泵量为 100 L/min。

6.3.2 计算泥浆泵压力

钻孔过程中,为了克服冲洗液在循环系统中遇到的各种阻力,促成冲洗液的循环流动,冲洗液必须具有一定的压力能,冲洗液在循环系统中的压力损失主要由下式确定:

$$P = k(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) \quad (8)$$

式中: k ——附加阻力系数; P_1 ——钻杆内的压力损失; P_2 ——环状空间中的压力损失; P_3 ——接头中的压力损失; P_4 ——岩心管和钻头中的压力损失。

按钻杆长度 50 m,钻杆直径 53 mm,钻孔直径 95 mm 计算,冲洗液量压力损失 $P < 2$ MPa。

综上,选用了 HDD100/8 型泥浆泵。

6.3.3 水龙头设计

在动力头主轴下端安装了水龙头,水龙头由芯轴、水套、水套固定座、密封圈和高压管等组成(图 8)。水套固定座与动力头之间采用螺栓联接,用于固定水套,防止水套旋转。工作中,动力头主轴带动

芯轴旋转,水套固定不转,泥浆泵排出的水经由高压管进入水套与芯轴之间的环空,再经钻杆中部进入孔底,由环空间隙上返,形成正循环钻进工艺。

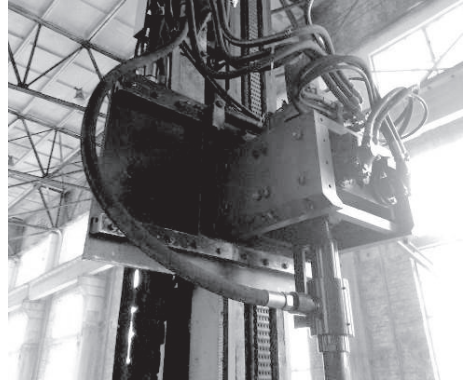


图8 动力头水龙头

Fig.8 Water swivel of the top head

在河北保定某场地,地下 15 m 处出现流砂地层,利用声频环保钻机和泥浆泵及水龙头系统,使用 $\varnothing 50$ mm 钻杆和 $\varnothing 89$ mm 岩心管,采用振动+回转的复合钻进工艺,实现了流砂层取样(见图 9)。



图9 流砂层取样

Fig.9 Sampling from the quicksand layer

在上述土壤采样应用过程中,钻机液压系统工作稳定,安全可靠,液压管线排布美观,操控灵活方便,能够满足工程应用要求。

7 结语

声频环保钻机是一种用于土壤采样调查的先进勘探装备,钻机液压系统性能稳定、操作方便、易于维护保养并便于维修,钻机在土壤采样调查项目中发挥了积极作用,大直径采样效果明显,优于直推式低频冲击环保取样钻机。通过改进增设泥浆泵和水龙头

系统,钻机还能适合于流砂、卵石层等复杂地层中钻进,进一步扩大了地层适用范围,应用前景广阔。

参考文献(References):

- [1] 雷开先. 声波钻机在环境地质调查中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 4-8.
LEI Kaixian. Application study of sonic drill in environmental geological survey [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(6): 4-8.
- [2] 吴浩, 周兢. 50米超高频声波环保钻机研制及其在污染场地调查的应用研究[C]//环境工程2019年全国学术年会.
WU Hao, ZHOU Jing. The research of 50m superfrequent sonic environmental rig and the application of investigation in polluted site [C]//2019 National Academic Conference on Environmental Engineering.
- [3] 罗强, 刘良平, 谢士求, 等. YGL-S100型声波钻机及其在深厚覆盖层成孔取样施工实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 9-13.
LUO Qiang, LIU Liangping, XIE Shiqiu, et al. Introduction of YGL-S100 sonic drill and the sampling practice in deep overburden layer [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(6): 9-13.
- [4] 杨正春, 伍宛生, 马东亮, 等. 便携式声波钻机在河道堤防勘探中应用分析研究[J]. 安徽地质, 2015(2): 126-128.
YANG Zhengchun, WU Wansheng, MA Dongliang, et al. Applied study of portable sonic drill in river course dyke exploration [J]. Geology of Anhui, 2015(2): 126-128.
- [5] 伍宛生, 杨正春, 黄江, 等. 基于便携式声波钻机成套设备的软弱松散地层勘察技术研究[J]. 治淮, 2020(12): 36-39.
WU Wansheng, YANG Zhengchun, HUANG Jiang, et al. Research on exploration technology of soft and loose stratum based on complete set of portable acoustic drilling rig [J]. Harnessing the Huaihe River, 2020(12): 36-39.
- [6] 周兢, 吴浩. 新型声频振动勘察钻机的研制与应用[J]. 施工技术, 2018, 47(S1): 918-921.
ZHOU Jing, WU Hao. Research and application of the new type sonic drilling investigation rig [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 918-921.
- [7] 史海岐, 刘宝林. 声频振动钻机及其液压系统的设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(7): 44-46.
SHI Haiqi, LIU Baolin. The design of the sonic drill rig and hydraulic system [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(7): 44-46.
- [8] 吴浩, 陆卫星, 任晓飞, 等. YSZ-50型声频振动钻机的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(1): 9-13.
WU Hao, LU Weixing, REN Xiaofei, et al. Development of YSZ-50 sonic drill rig [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(1): 9-13.
- [9] 李伟, 吴浩, 杨恺. MGD-S50 II型声频振动钻机的研制与试验[J]. 中国煤炭地质, 2017, 29(12): 75-77, 95.
LI Wei, WU Hao, YANG Kai. Development and test of MGD-S50 II type sonic drill rig [J]. China Coal Geology, 2017, 29(12): 75-77, 95.
- [10] 王刚, 陶柳. 负载敏感液压系统节能设计及AMESim仿真分析[J]. 机床与液压, 2021, 49(22): 164-168.
WANG Gang, TAO Liu. Energy-saving design and AMESim simulation analysis of load sensitive hydraulic system [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2021, 49(22): 164-168.
- [11] 王威. 负载敏感控制液压系统在锚杆钻机中的应用[J]. 煤矿机械, 2020, 41(11): 118-119.
WANG Wei. Application of load sensitive control hydraulic system in bolt drilling truck [J]. Coal Mine Machinery, 2020, 41(11): 118-119.
- [12] 商孟全. 基于负载敏感的全液压钻机防卡钻控制系统研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2020.
SHANG Mengquan. Study on anti-jamming drilling control system of full hydraulic drilling rig based on load sensitivity [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2020.
- [13] 范建强, 唐剑锋, 王转来, 等. APV16负载敏感多路阀在旋挖钻机上的应用[J]. 液压气动与密封, 2018, 38(7): 54-56.
FAN Jianqiang, TANG Jianfeng, WANG Zhuanlai, et al. Application of APV16 load sensitive multiway valve for rotary drilling rig [J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2018, 38(7): 54-56.
- [14] 王瑜, 刘宝林, 周琴, 等. 声频振动钻机液压系统设计与研究[J]. 机床与液压, 2012(23): 76-79.
WANG Yu, LIU Baolin, ZHOU Qin, et al. Design and study for hydraulic system of sonic vibration drill [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012(23): 76-79.
- [15] 王健. ZDY760全液压钻机液压系统设计[J]. 煤矿机械, 2009, 30(6): 3-5.
WANG Jian. Design of ZDY760 drilling hydraulic system [J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30(6): 3-5.
- [16] 孙友宏, 胡志坚, 贾志勇, 等. JQW-30型钻机液压系统设计[J]. 工程机械, 2006(9): 41-45, 106.
SUN Yonghong, HU Zhijian, JIA Zhiyong, et al. Design of hydraulic system in model JQW-30 drill [J]. Construction Machinery and Equipment, 2006(9): 41-45, 106.
- [17] 章宏甲. 液压传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
ZHANG Hongjia. Hydraulic Transmission [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2002.
- [18] 成大先. 机械设计手册(第6版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
CHENG Daxian. Mechanical Design Manual (6th Edition) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.
- [19] 秦沛, 李海明, 刘春生. Geoprobe直推钻机在城市水土环境地质调查中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(3): 1-8.
QIN Pei, LI Haiming, LIU Chunsheng. Application of Geoprobe drilling rig in investigation of the urban soil and water environment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3): 1-8.

(编辑 荐华)