

钻参仪参数检测原理及传感器选型安装

方俊, 鄢泰宁, 卢春华

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:深部和外围找矿工作的不断发展,需要研制出新型深孔钻机及其配套的钻探参数监测系统。全液压动力头岩心钻机将是未来深部钻探的主力钻机,CUG-2 钻参仪是中国地质大学研制的与 2000 m 全液压动力头岩心钻机配套的钻探参数监测系统。介绍了 CUG-2 钻参仪的设计特点和检测参数,重点介绍了与常规转盘式、立轴式钻机不同的参数检测原理及其传感器选型安装,包括孔深、钻速、扭矩、功率和出口流量等。

关键词:钻参仪;孔深;扭矩;功率;钻压;出口流量;全液压动力头钻机

中图分类号:P634.3⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)04-0001-05

Parameter Detection Principle of CUG-2 Drilling Parameter Monitor and Lectotype Installation of the Sensor
FANG Jun, YAN Tai-ning, LU Chun-hua (Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: With the continuously development of deep and peripheral prospecting, a new type of deep-hole drilling rig matched with monitoring system of drilling parameters is required, and all hydraulic-top head core drilling rigs will be the main drilling rigs for deep drilling in future. CUG-2 monitoring system of drilling parameter monitor was designed by China University of Geosciences to match the 2000m all hydraulic-top head core drilling rig specially. This article introduced the design characteristics and testing parameters of CUG-2 system and emphatically introduced the parameters detection principle which was different to the principles for normal rotary drilling and shaft-drilling rigs as well as lectotype installation of sensors, including hole depth, drill speed, torque, horsepower and flow out rate.

Key words: drilling parameter monitor; hole depth; torque; power; drilling pressure; flow out rate; all hydraulic-top head core drilling rig

地质工作是经济社会发展的先行和基础。钻探技术又是获取地下深部勘探对象实物地质资料的唯一手段。在国务院“关于加强地质工作的决定”(国发[2006]4号文)中强调大力推进深部和外围找矿工作,提高基础地质调查程度。而研制新型深孔钻机及其配套的“钻探参数监测系统”正是实现深部钻探的物质基础,也是落实国务院加强地质工作决定的重要战略任务之一。“2000m地质岩心钻探关键技术及装备”是由中国地质科学院勘探技术研究所、中国地质大学(武汉)、北京探矿工程研究所等多家单位联合实施的国家863项目。它的设计是围绕深孔硬岩金刚石绳索取心钻探关键技术问题,通过优质、高效深孔钻进工艺方法以及2000m全液压岩心钻机及配套设备的研究,形成先进的深部矿产资源钻探技术体系。

由于国外钻参仪基本是针对石油转盘钻机而设计的,其常规口径都在200mm以上,俄罗斯和国内

前期的钻参仪也基本都是针对地质勘探立轴式钻机设计的,而本次项目研制的是全液压动力头式2000m地质岩心钻机,其驱动方式、起下钻方式、操作控制方式都与传统钻机有很大区别,所以对拟监测参数的选择,各钻探参数的传感器监测原理、安装位置及其安装方式均要重新研究与开发。

1 钻参仪参数监测整体设计

1.1 钻参仪模块化设计

钻参仪对于深孔地质钻探非常重要。与石油钻井相比,地质岩心钻探现场环境更恶劣,搬迁更频繁,运输条件更差。由于过去的钻参仪每测试一个参数用一个传感器,并用单独的传输线与钻参仪连接,测试参数越多,传输线越多,各传输线还必须从机台板底下穿引,而钻机和钻参仪又须经常搬迁,反复拆装,给钻工带来诸多不便,此外钻机、水泵的强烈振动,泥浆和油的污染等恶劣条件都使得钻参仪

收稿日期:2009-11-18

基金项目:国家“863”计划“十一五”重点项目“2000m地质岩心钻探关键技术及装备”(项目编号:2007AA060701)的部分研究成果

作者简介:方俊(1985-),男(汉族),湖北襄樊人,中国地质大学(武汉)硕士研究生在读,地质工程专业,研究方向为钻探工艺及过程控制,湖北省武汉市中国地质大学(武汉)1200810班,fangjunlz@163.com;鄢泰宁(1945-),男(汉族),江西人,中国地质大学(武汉)教授、博士生导师,俄罗斯自然科学院外籍院士,探矿工程专业,从事钻探工程教学及科研工作, tnyan@cug.edu.cn。

的使用方便性和工作可靠性存在很大不足。针对钻探施工的特点和以往的不合理设计,CUG-2 钻参仪采用多参数分组集成模块化设计,即将钻机和泥浆系统分为两个模块分别进行数据采集,然后将采集结果汇总到钻参仪内,进行显示和处理,并可将现场信号通过无线传输的方式传输到后方指挥部和办公室。

1.2 各模块参数选择

CUG-2 高精度钻探参数监测系统主要由 13 个传感器、2 个接线盒、2 块数据采集板(钻机和泥浆系统模块各 1 块)、双绞线、数据通信板、主机箱(含可折叠支架)、无线发射器、无线接收器、系统软件以及报警器等部分组成,共检测 13 个参数。

1.2.1 钻机参数模块参数选择

钻机模块共检测和显示钻压、扭矩、功率、转速、孔深和钻速 6 个参数。共需要使用 8 个传感器,其中:4 个压力传感器、3 个霍尔传感器和 1 个光栅增量编码器。参数量程及精度见表 1。

表 1 钻机模块参数测试范围及精度指标

参数	量程	精度
钻压	0 ~ 150 kN	0.5
转速	0 ~ 1200 r/min	分辨率 1 r/min
扭矩	0 ~ 8 kN·m	0.5
功率	0 ~ 200 kW	0.5
钻速	0 ~ 10 m/h	0.2
孔深	0 ~ 3000 m	0.2

1.2.2 泥浆系统模块参数选择

泥浆系统模块共检测和显示泵压、液面高度、出口温度、入口排量、出口排量、入口密度和出口密度等 7 个参数。共使用了 5 个传感器,其中 1 个压力传感器、1 个霍尔传感器、1 个温度传感器、1 个超声波液位传感器和 1 个干簧管液位计。各参数量程及精度见表 2。

表 2 泥浆系统模块参数测试范围及精度指标

参数	量程	精度
泵压	0 ~ 20 MPa	0.5
泵量	0 ~ 500 L/min	0.5
出口泥浆流量	0 ~ 100 %	0.5
出口泥浆温度	0 ~ 100 °C	分辨率 1 °C
泥浆池液面高度	0 ~ 5 m	2.0
入孔泥浆密度	0.8 ~ 2.0 g/cm ³	1.0
出孔泥浆密度	0.8 ~ 2.0 g/cm ³	1.0

注:入孔泥浆密度和出孔泥浆密度为手动输入,不需要安装传感器进行检测。

1.3 系统的结构设计

系统结构分为数据检测和采集部分、数据通讯

部分、系统软件部分和无线发射接收部分等。数据检测采集部分可分为液压动力头钻机参数测量模块、泥浆系统参数测量模块。利用传感器测得相应的数据后,集中到数据采集板上,然后一起发送至数据通讯板,从而将数据传输给 PC 机,利用系统软件对检测数据进行处理、显示并保存出来,软件部分主要由系统参数处理模块、系统设置模块、工况识别模块、数据通讯模块、数据管理模块组成。处理后得到的参数可以利用无线发射器和无线接收器,通过无线传输的方式传输到后方指挥部和办公室。系统结构见图 1。

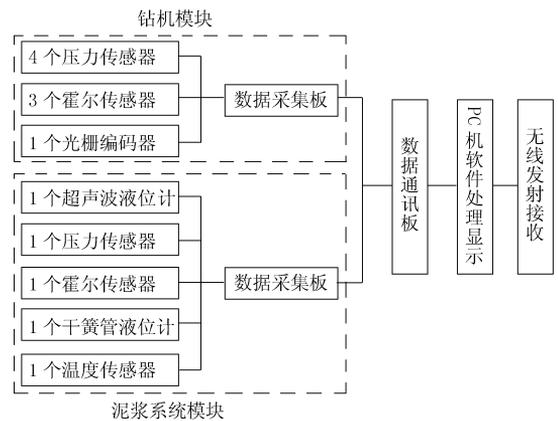


图 1 系统结构图

2 参数检测及传感器安装

2.1 井深和钻速检测

2.1.1 检测方案制定

井深是指井口转盘面到井底之间的长度。钻速是指钻机钻进时的进尺速度,它们是钻进过程中最重要的技术指标之一,对调节钻进规程和掌握孔内工作状况起到十分重要的作用。特别是对于计算机自控优化钻进技术来说,钻速检测是必不可少的。

国内外针对常规的地质勘探立轴式回转式钻机所研制的钻参仪,井深测量一般采用天车接近开关式传感器,绞车时接近开关式传感器,绞车光电编码器式传感器等 3 种传感器。他们都是基于游车的位移与钢丝绳的位移之间的确定关系,从而测得钻井深度^[1]。中国地质大学研制的 DDW-3 钻参仪采用的钻速传感器则安装在回转器壳体内,当立轴下移时通过绳轮把立轴线位移转换为光栅的角位移,其光信号转化为与位移成线性关系的电脉冲信号,在采样时间内对脉冲累加,即为瞬时进尺量,进尺速度就是机械钻速,累加进尺量可得出回次进尺,累加回次进尺即为孔深。

由于全液压动力头钻机在现场钻进时,主卷扬只在起下钻和接单根时使用,正常钻进不使用大钩,同时不需要立轴倒杆,因此不能通过测量主卷扬绞车或立轴的变化来测量井深。

本系统采用光栅编码器测量动力头位移,经过处理即可得到井深。测量动力头位移时,借助同步带将动力头的线位移转化为光栅编码器的角位移,用光栅式角位移传感器测出同步带带轮轴的角位移即可算出动力头的线位移。同步带绕过上、下带轮固定在动力头上,形成闭环。钻速可以通过单位时间的动力头位移间接算出。

需要注意的是,每钻进一段时间,例如 1 天、1 星期,要人工校正孔深,以避免累计误差。

2.1.2 传感器介绍与安装

因为动力头是运动的,且桅杆部件结构复杂,所以同绞车和立轴相比,测量动力头的位移相对要麻烦得多,如何利用好有限的空间来测量是解决问题的关键。

本系统采用的检测方法是先将光栅编码器和自制的同步带轮固定在一起,然后将同步带、同步带轮和动力头连接起来。动力头的上下运动带动同步带上下运动,从而带动同步带轮和光栅编码器的轴转动,测量出光栅编码器输出信号的脉冲个数,即可以算出动力头位移大小。

2.1.2.1 光栅编码器和同步带轮的固定

同步带以钢丝为抗拉体,外面包覆聚氨酯,工作时靠带轮与轮齿啮合传动,由于带与轮无相对滑动,能保持两轮的圆周速度同步。它的优点为:传动比恒定,结构紧凑,带薄而轻,抗拉体强度高,带速可以很大,效率高。

为了将同步带、动力头、光栅编码器联系起来,我们专门设计了 2 个同步带轮。同步带轮设计为圆弧齿,齿数为 48 个,节径为 122.23 mm,外径为 120.85 mm,槽宽 40 mm,带轮与轴采用平键连接,键的公称尺寸为 6 mm × 6 mm,带轮采用双挡边,防止同步带运动时偏出,实物见图 2。

为了将同步带轮和光栅编码器联系起来,设计了专门的构件(详见图 3)。选用一块 L 形钢板,在纵向面板上安装一个轴承,将同步带轮与轴采用平键连接,利用紧固螺钉将光栅编码器的转动轴和轴承轴固定起来。光栅编码器的固定部分与通过一个 L 形薄钢板与 L 形钢板固定在一起。这样同步带轮转动时,光栅编码器的轴会跟着转动,而其它部分则固定不动。

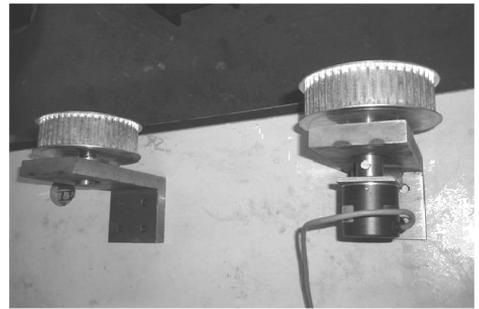


图 2 同步带轮及光栅编码器实物图

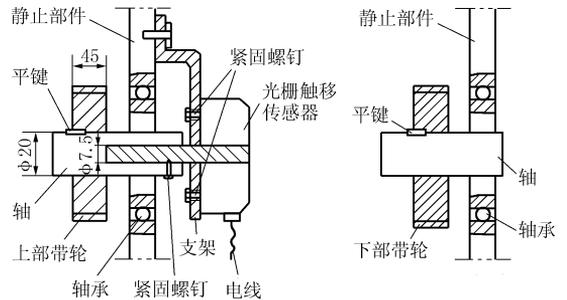


图 3 同步带轮及光栅编码器设计图

2.1.2.2 同步带的安装和张紧装置

由于动力头的行程最大为 3 m,同步带的长度至少为其行程的 2 倍。同步带的长度比较长,安装和固定是一个需要解决的问题。

因此本系统设计了同步带的安装和张紧装置,利用一个 L 形薄钢板、一个己字形薄钢板和一个螺栓将同步带连接起来,通过调节螺栓的长度可以调节同步带的长度,从而控制同步带的松紧。同时,用一个螺栓将己字形薄钢板和动力头固连在一起,这样动力头上下移动时,将会带动同步带一起运动。光栅编码器和同步带实物安装见图 4。



图 4 光栅编码器和同步带实物安装图

1—同步带轮;2—光栅增量编码器;3—同步带;4—同步带张紧机构

2.2 扭矩检测

2.2.1 检测方案制定

扭矩是钻进过程最重要的规程参数之一,在钻具直径一定的条件下,它表示钻进过程中钻头破碎岩石时的水平阻力和钻具回转时与孔壁的摩擦阻力的大小。

常规的转盘钻机扭矩检测时,以链条驱动的钻机一般采用张紧轮式转盘扭矩传感器,它安装在转盘驱动链条紧边的下面,将链条的张紧力转换成油压,再通过压力传感器,把输出的油压信号转换成电信号,电信号的强弱就反映转盘驱动扭矩的变化,通过电缆将电信号传递到二次仪表或计算机接口,以显示和采集转盘驱动扭矩的信息。对于电动钻机,一般采用一种测量大电流的霍尔元件来进行测量。它安装在驱动转盘的主电机电源线上,通过电机的电流变化来计算出转盘扭矩的具体值,以反映出井下钻具的工作情况和井底地层的变化^[1]。

本钻机是通过液压马达提供并传给动力头上的钻杆扭矩的,液压马达系统内没有链条传动装置,同时空间有限,因此必须采用新方法对扭矩进行测量。由于回转器是由动力头带动的,因此扭矩可通过测液压马达的扭矩得到:

$$T = T_t \eta_v \quad (1)$$

式中: T_t ——理论扭矩, $T_t = pV_d = pV/(2\pi)$; p ——液压马达的工作压力, Pa; V ——液压马达的每转排量, m^3/r ; η_v ——液压马达的容积效率, 液压马达的 η_v 是其固有属性,可看作常数。

一般认为液压马达的输出端油压为0, p 值为输入端油压,考虑到油管较长,沿程损失可能较大,式(1)中液压马达工作压力可以通过在液压马达的进、出口处各安装一个压力传感器来测量,此时 p 为进出口压力差。故液压马达的扭矩 T 可根据下式来计算:

$$T = (p_{\text{进口}} - p_{\text{出口}}) V \eta_v / (2\pi) \quad (2)$$

式(2)中液压马达每转排量可以通过测量柴油机的转速和液压马达的转速计算出来。由于液压马达的排量和柴油机的排量近似相等,而柴油机的排量和柴油机的转速存在一定的关系。测量出柴油机的转速后,就可以算出柴油机的排量,从而得到液压马达的排量,即可得到液压马达每转排量。

2.2.2 传感器介绍与安装

液压马达工作压力通过在液压马达的进、出口处各安装一个压力传感器来测量,由于空间有限,设计了一个L形转接头将压力传感器和液压马达连接起来。传感器实物安装见图5。



图5 液压马达压力传感器安装图

液压马达钻速采用霍尔传感器检测,该传感器输出信号为脉冲信号,通过单位时间内脉冲信号的个数即可算出液压马达的转速。

柴油机的转速采用柴油机自带霍尔传感器进行测量,该传感器用于检测柴油机的齿轮转过的齿数,从而算出柴油机的转速。

2.3 功率检测

2.3.1 检测方案制定

钻进功率是指回转器的功率,是钻进过程中最重要的技术指标之一。常规的钻机可以在回转器上安装功率传感器来测量钻进功率。中国地质大学研制的DDW-3钻参仪则是采用功率传感器测出电机的有功功率,剔除掉油泵功耗,得到钻进功率^[2]。但是全液压力头钻机采用柴油机驱动,同时回转器需要和动力头一起上下移动,安装功率传感器不太合适。由于回转器由液压马达带动,因此可以通过检测液压马达的输出功率来得到回转器的功率。液压马达的功率为:

$$N = Tn/9550 \quad (3)$$

式中: N ——液压马达的功率, kW; T ——液压马达的扭矩, $N \cdot m$; n ——液压马达的转速, r/min 。

2.3.2 传感器介绍与安装

要得到功率需要先检测液压马达的扭矩 T 和转速 n ,然后利用公式(3)算出其功率。液压马达扭矩 T 已在扭矩检测中得出,转速 n 也已经测量出来,故可以直接算出钻进功率。

2.4 出口流量检测

2.4.1 检测方案制定

出口排量即为泥浆出口返回量,在钻井仪表中,通常不直接测量泥浆出口绝对排量,而是测量它在架空管线中充满度的读数,即不进行流量标定,给出的是一个相对数值,用百分比表示。它的重要功能是安全报警用:出口流量的明显增加或减少,可以预

示井涌或井漏。如配合泥浆罐钻井液总体积的读数变化,判断安全报警的效果就更好。此外,还可以判断泥浆泵上水好坏;判断泥浆环路及钻头水管畅通或堵塞^[2]。

出口流量的测量主要应用于石油钻井领域,在常规的地质勘探立轴式钻机中很少测量。出口流量一般采用电磁流量计、超声波多普勒流量计或挡板式出口流量计进行测量。

由于以上流量传感器成本较高、精度稍差,同时地质钻探使用的钻井液流量相对较小,回流管内钻井液往往只有半管,因此我们设计并制作了一个干簧管液位计,用于检测钻井液的出口流量。

2.4.2 传感器介绍与安装

自制的干簧管液位计由2根细管组成,其中一根管装内含磁钢的浮球,管壁有小孔,钻井液可以通过小孔进入管内;另一管装等距离分布的干簧管和电路板,密封,防止钻井液进入。当回流管内液位变化时,浮球位置跟着变化。浮球接近某一干簧管时,该管闭合导通,使传感器的电阻值发生变化,电路板上的转换电路将其阻值转换成电流输出,通过电流值可以算出该干簧管编号,即回流管中的液面高度,然后计算出回流管中的泥浆截面积,得出返浆流量百分比。干簧管见图6。

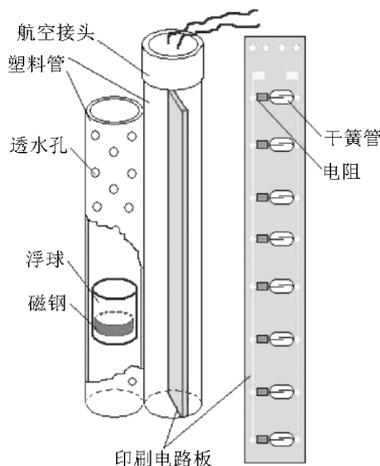


图6 干簧管示意图

干簧管液位计安装在回流管上,其安装示意图如图7所示。

3 结论

CUG-2 钻参仪是在中国地质大学以前研制的DDW系列及CUG-1钻参仪的基础上,针对2000 m全液压力头岩心钻机设计的钻探参数检测系统,系统检测、显示和保存13个钻探参数,基本

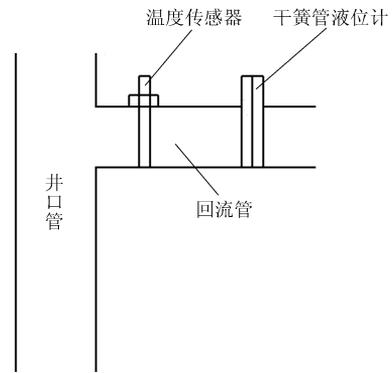


图7 干簧管液位计安装示意图

上满足现场施工和优化钻进的需要,利用检测的数据,还可以对钻探过程中出现的事故和故障进行报警和判断,为智能化钻井提供了基础。

CUG-2 钻参仪主要是对地表常规参数进行检测,对井内参数没有进行检测,而井内情况和地表检测的结果不完全一样,可以加强对井内参数检测的研究。同时针对地表参数检测,还存在一些不足,需要继续完善。

(1) 该钻参仪检测参数为钻机正常钻进的参数,而在起下钻、扫孔等辅助作业时也往往会发生事故,需要加强对辅助作业时的钻进参数检测。比如加设一个传感器检测主卷扬绞车的转动,从而对起下钻的速度和钻具在井内位置进行控制。

(2) 本钻机使用的是柱塞式泥浆泵,通过测量泵冲次间接算出泵量。但是当泥浆泵损坏无法上水,柱塞能运动时,测量有泵量,实际却没有钻井液,此时可能导致钻井事故。可以增加一个传感器来监测泥浆泵的运行情况或者泥浆管内泥浆的情况。

(3) 由于该钻机主要采用绳索取心钻进,建议在副绞车上安装一个传感器,以测量绳索取心工具的起下速度和在钻具内的深度。

(4) 钻进时,井孔内可能出现事故,钻机也可能发生故障,可以在钻具转速测试霍尔开关附近安装一个振动传感器,以对钻机工况进行识别。

(5) 本钻参仪显示有孔深和钻速,但是没有显示回次进尺,建议增加回次进尺显示,以方便绳索取心钻具控制和现场钻进记录。

参考文献:

- [1] 宋树涛. 钻井多参仪的发展现状及趋势[M]. 中国仪器仪表, 2003, (6).
- [2] 鄢泰安, 胡郁乐, 张涛. 检测技术及钻井仪表[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2009.