

旋转导向钻井导向力测试标定系统设计

高捷 孙龙飞 孙师贤 张玉霖 贾建波 吉玲

(中海油田服务股份有限公司 北京 101149)

摘要: 油田水平井和大斜度井的开发离不开旋转导向钻井技术的支持。旋转导向钻井工具导向力控制的精确与否决定了实钻轨迹是否沿着设计轨迹钻进。为了获取更加精确稳定的导向力,针对液压执行机构阻尼原件的不确定性和差异性,设计了一套导向力测试标定系统,该系统可同时测量3路液压推力,可降低3个推靠力之间的耦合影响,提高测量精度,并开发上位机软件,该软件具备实时推力曲线显示、数据自动处理、标定参数自动生成、测试报告自动保存等功能,大大提高工作效率,确保钻井轨迹控制的精确性,防止钻井事故发生。

关键词: 导向力;标定;电路模块;数据处理

中图分类号: TN709 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

Design of calibration system for wellleader steering force

Shang Jie Sun Longfei Sun Shixian Zhang Yulin Jia Jianbo Ji Ling

(Well-Tech R&D Institutes China Oilfield Service Ltd., Beijing 101149, China)

Abstract: The Rotary steering drilling technology provides an effective technical means for the development of high angle and horizontal wells. The precision control of steering force determines whether the real drilling trajectory is in the design trajectory. In order to obtain more precise steering force, aim at the uncertainty and difference of the damping components in hydraulic actuators, this paper designs a steering force testing calibration system, the system can measure simultaneously three way hydraulic thrust, reducing the coupling effect of three thrust and improve the measurement accuracy, and developing PC software which can provide real-time thrust curve display, data processing automatically, calibration parameters generating automatically, test report saving automatically and etc, greatly improving the work efficiency. Ensure the accuracy of drilling trajectory control and prevent drilling accidents.

Keywords: steering force; parameters calibration; circuit module; data processing

0 引言

旋转导向钻井技术是油气田勘探开发领域高端技术,是提高采收率和单井产量的重要技术手段,目前旋转导向钻井技术装备大规模投入市场,取得了巨大经济效益^[1-4]。该项技术主要由国外三大油服公司 Schlumberger、Halliburton 和 Baker Hughes 主导,导向原理主要分为推靠式和指向式两种。本文所述的旋转导向钻井系统属于推靠式,通过推靠钻具按照设计的方向偏置,实现钻头导向。推靠力是由液压执行机构提供的,液压执行机构通过控制液压缸内的压力进而控制输出的推力,这就要求必须建立压力和推力之间的确切关系才能精准实现推靠力的控制。但在实际设计中,由于构成液压执行机构的密封件、液阀阀等阻尼原件都具有不确定性、差异性和不稳定性,通过理论

推导的方法确定压力和推力的对应关系计算较复杂,工作量较大。基于此,本文设计了一套导向力测试标定系统,通过大量实测数据,得到压力值所对应的推力值,再经过数据拟合得到压力与推力的对应关系,进而通过控制压力实现导向力的精准控制。

1 推靠式液压执行机构工作原理

推靠式旋转导向钻井设备以液压作为动力源,如图1所示,活塞缸静止不动,电机启动后液压系统开始工作,电机驱动柱塞泵向液压缸内泵油,推动活塞向上运动,同时向上顶推靠臂,使推靠臂张开支撑在井壁上;推靠臂在张开过程中,复位弹簧发生形变,产生回复力;电机关闭后柱塞泵停止泵油,复位弹簧立即收缩,使推靠臂向下运动,带动活塞向下复位。

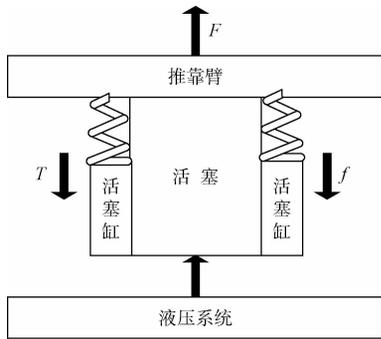


图 1 液压执行机构

由此可知,推靠力并不等于液压缸内的压力与活塞面积的乘积,正确的受力关系为:

$$F = P \cdot A - f - T - f^* \quad (1)$$

式中: F 为推靠臂的推靠力, A 为活塞面积, P 为液压缸压力, f 为摩擦力, T 为推靠臂复位弹簧的回复力, f^* 为系统阻力。其中,液压缸压力和活塞面积可精确测量,复位弹簧的弹力可近似测量,其余系统阻力和摩擦力为不可测因素,因此为了精确得到推靠力与压力的对应关系需要采取标定拟合的方法^[5-6]。

2 导向力测试标定系统设计

结合实际需要和测量要求,导向力测试标定系统应具备同时测量 3 路推力大小,数据自动处理、自动存储、实时显示的功能,推力传感器满足测量精度要求。

导向力测试标定系统主要由 3 组高精度推力传感器、测力盘、测量电路模块和上位机软件构成。推靠臂推力通过 3 路高精度推力传感器测量,并把测量信号经放大调理后传输到计算机终端,利用上位机软件对采集到的数据进行存储、处理和显示,并自动生成拟合数据,得到压力与推力的对应关系。

由于导向力是 3 个推靠力的合力,又通过标定拟合建立液压缸的压力与推力的关系,进而得到压力与导向力的关系,从而实现了通过控制压力间接控制导向力的目标。

3 导向力测量标定电路方案设计

导向力测试标定系统的测量电路主要由 CPU 模块、信号采集处理模块、通信模块和电源模块构成,如图 2 所示,由三路推力传感器输出的毫伏信号经采集电路放大调理后,进行模数转换,再由通信模块传给上位机软件,上位机软件进行数据显示、存储和处理^[7-8]。

3.1 电源模块

测量电路包含不同的 IC 芯片,正常工作时需要不同的电源。单片机和推力传感器需要提供 5 V 电压源。故采用具有多种输出电压的 DC/DC 转换模块,可输出 +15、-15、5 V 三种电压。推力传感器的工作电压由芯片 LM1117-5

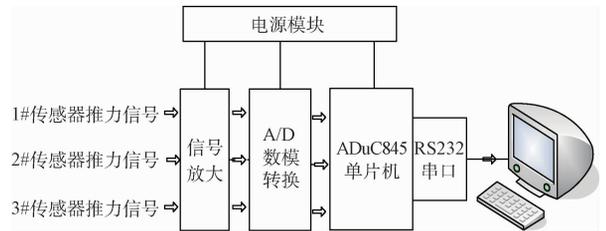


图 2 测量采集电路结构

将 +15 V 电压转化为稳定的 5 V 电压提供,同时也可为单片机提供 5 V 电压。芯片 LM1117-5 具有输出电压精度高、低温漂等优势,满足测量电路的需求。

3.2 处理器模块

处理器模块功能包括通信控制、信号采集处理及参数设置。结合实际需要,处理器选择 ADuC845BS62-5 单片机,其具有开发方便、功耗低、功能强大等优点。片内集成数据存储、程序存储器、RAM 存储器,可满足测量所需的各种功能。该单片机自带高精度模数转换功能,输入到单片机的推力传感器信号范围为 2.048~4.096 V,以实现模数转换采集匹配。

3.3 推力传感器信号采集调理模块

为了精确测量推靠臂输出的推力,需要选用合适的推力传感器。旋转导向钻井设备推靠力的输出量程为 0~3 T,根据实际需求,测力传感器采用应变式电阻测力传感器。其工作原理是传感器受到力的作用时,内部电阻应变片发生形变,导致电阻应变片的阻值发生变化,该变化可利用惠斯登电桥进行测量^[9-10],如图 3 所示,将输入电压 U_i 加在电桥 a 、 c 两端,输出电压 U_o 为式(2)所示,由式(2)可得出,若其中某一个电阻阻值发生变化,则输出电压 U_o 会发生相应变化,且在材料弹性形变范围内,该变化呈良好的线性关系,应变式电阻测力传感器就是利用了该种特性。

$$U_o = \frac{R_2 \cdot R_1 - R_1 \cdot R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_1)} U_i \quad (2)$$

由于推力传感器输出信号易受到噪声干扰,所以在输出信号到达电路板后立即进行滤波放大。设计中选择高精度 AD623 芯片对信号进行调理放大,该芯片可通过改变外部电阻值的大小设定放大倍数,如图 4 所示。由于所选传感器的输出范围为 0~10 mV,选用 500 Ω 的放大设定电阻,放大倍数为 198。

单片机模数转换和仪表放大器工作都需要设置参考电压,选用 ADR440B 芯片,该芯片具有输出精度高、温漂系数低等优势,将 +15 V 电压转换为 2.048 V 电压作为参考电压源^[11-12]。

3.4 通信模块

测量电路通过串口与上位机进行通信,操作人员将传感器参数通过串口下载到单片机,单片机将传感器数值通过串口发送到上位机软件。本设计中将 MAX3232 芯片作为串口通信芯片。

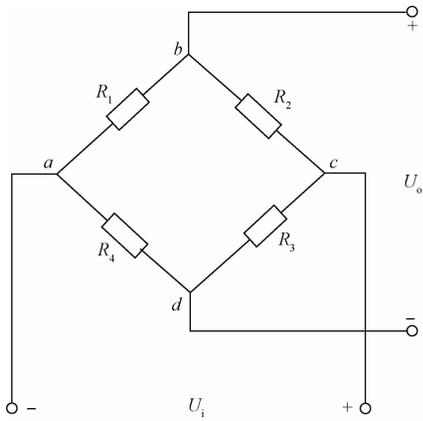


图 3 推力传感器测量原理

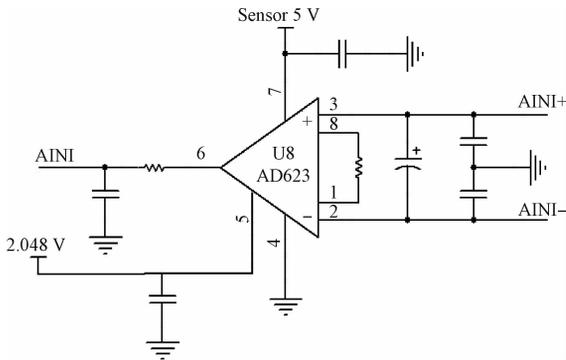


图 4 信号调理电路

集等功能。三路推力数据采用顺序方式逐个采集,数据采集流程如图 5 所示。上位机软件经串口向仪器发送启动指令,仪器开始工作,推靠臂在液压机构驱动下张开,推力传感器输出推力信号,推力信号经串口发送到上位机软件,上位机软件对接收到的数据进行采集、储存,并在前台显示、绘图等^[13-16]。

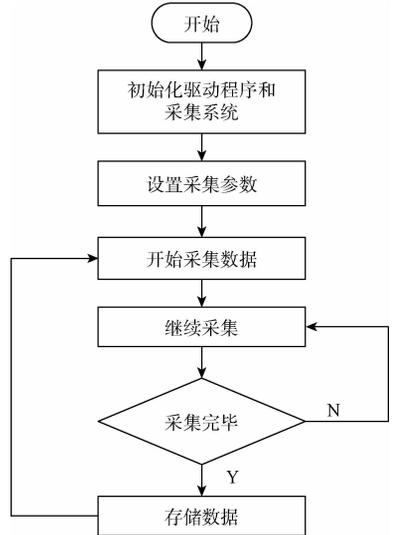


图 5 数据采集流程

该上位机软件如图 6 所示,可以对储存的数据进行处理,剔除通信错误产生的奇异点,并自动生成拟合报告。由于在推力增大或减小时,压力与推力的对应关系不同,需要分别求出两种情况下的对应关系,即当需要增大推靠力时,采用正行程对应关系;当需要减小推靠力时,采用反行程对应关系,如图 7 所示。

4 上位机软件设计

单片机内部程序具有与上位机通信和 3 路推力数据采



图 6 系统软件界面

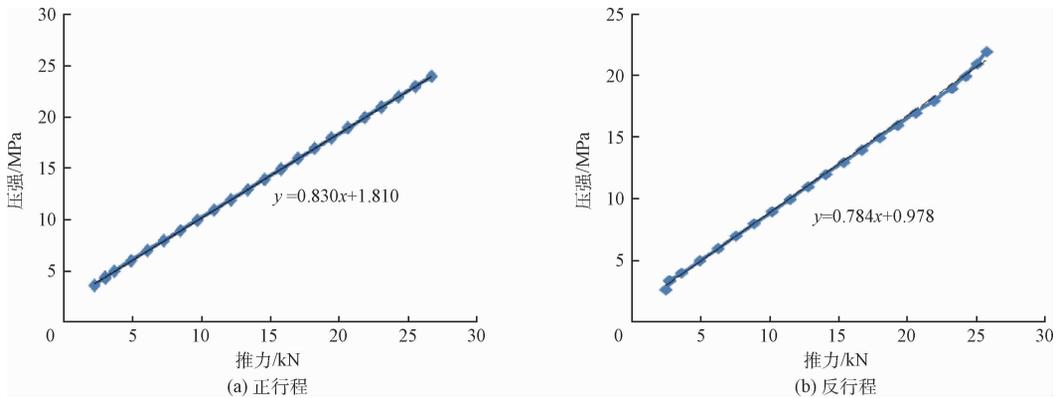


图7 标定拟合曲线

5 结论

本文针对推靠式旋转导向钻井系统的实际需求,设计了一套能够准确确定压力和推力对应关系的测试标定装置。具有测试精度高,运行稳定,储存数据量大,自动生成拟合报告等优势;同时大大降低测试人员的工作量,避免人为疏忽;保证旋转导向钻井轨迹控制的精确性,避免钻井事故发生。

参考文献

- [1] 熊继有,温杰文,荣继光,等. 旋转导向钻井技术研究新进展[J]. 天然气工业,2010,30(4):87-90.
- [2] 姜伟,蒋世全,付鑫生,等. 旋转导向钻井技术应用研究及其进展[J]. 天然气工业,2013,33(4):75-79.
- [3] 薛启龙,丁青山,黄蕾蕾. 旋转导向钻井技术最新进展及发展趋势[J]. 石油机械,2013,41(7):2-5.
- [4] 刘光贞,殷红海. 钻井井眼轨迹影响因素分析与探讨[J]. 中国科技纵横,2011,306(8):1671-2064.
- [5] 张玉霖. 旋转导向钻井系统导向力测试装置设计及优化[D]. 北京:北京工业大学,2013.
- [6] 于洵,李玉杰,武继安. 基于回转体转角高精度测量装置的标定方法[J]. 国外电子测量技术,2012,31(2):51-54.
- [7] 过峰,俞建峰,陆振中. 力传感器关键性能参数自动标定系统[J]. 电子测量技术,2015,38(5):85-88.
- [8] 吴秀梅,赵连玉. 力传感器动态标定装置的研究[J]. 天津理工大学学报,2007,23(2):75-77.

- [9] 杨全廷,杨纪明,韩小全. 一种高精度的发动机推力测量系统[J]. 传感器与微系统,2008,27(12):82-83.
- [10] 何乃龙,沙奕卓,行鸿彦. 基于电桥的高精度电阻测量系统的设计与实现[J]. 电子测量技术,2015,38(6):92-96.
- [11] 党瑞荣,张宏伟,宋楠,等. 高温高压井下压力传感器的补偿与校正[J]. 仪器仪表学报,2016,37(4):737-743.
- [12] 杨双龙,徐科军. 应变式多维力传感器的故障诊断方法与实现[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(9):1361-1371.
- [13] 闫德顺,刘收,苏建军. 基于 C08051F410 单片机的 AD 芯片替代方案的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2015,23(4):1385-1387.
- [14] 楼平. 基于 GPRS 的无线远程气象数据采集传输系统设计[J]. 电子测量技术,2012,35(5):118-122.
- [15] 金敏,吴丹. 车载设备嵌入式监控组态软件的研究与应用[J]. 电子测量与仪器学报,2012,35(5):118-122.
- [16] 冷洋,何进,黄小凤,等. 基于 Microsoft Visual C++ 的上位机软件设计与实现[J]. 大众科技,2014,16(8):1-2.

作者简介

尚捷,工学博士,主要研究方向为随钻测井仪器、旋转导向钻井仪器等相关技术领域。

E-mail:shangjie2@cosl.com.cn