

Commissioning Process and DTC Control of the Frequency Conversion System of Mud Pump

Xiaoying Fu¹ Liguozhang¹ Shifei Zhu² Weiwei Han³ Dongchen Wang¹

1. Shanghai Lanbin Petrochemical Equipment Co., Ltd., Shanghai, 201518, China

2. Gansu Lanke Petrochemical High-tech Equipment Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730070, China

3. Gansu Human Resources Service Co., Ltd., Lanzhou, Gansu, 730070, China

Abstract

At present, the petroleum drilling mud pump, as the main equipment of oilfield drilling, mainly adopts frequency conversion control, while the frequency conversion control of the mud pump mainly adopts direct torque control (Direct torque control, hereinafter referred to as DTC). By summarizing the debugging process of mud pump frequency conversion system, the paper verifies that the torque following of double motor is better than the speed following, and proves that DTC control can improve the frequency conversion control effect of drilling mud pump and realize the optimization of control effect. At the same time, through the introduction of DTC control principle, the analysis of drilling mud pump frequency conversion speed control technology, it shows that DTC control can improve the stability and safety of drilling mud pump operation.

Keywords

direct torque control; drilling mud pump; frequency conversion; speed control

泥浆泵变频系统调试过程及 DTC 控制

付晓颖¹ 张利国¹ 朱世飞² 韩伟伟³ 王东晨¹

1. 上海蓝滨石化设备有限责任公司, 中国·上海 201518

2. 甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司, 中国·甘肃 兰州 730070

3. 甘肃人力资源服务股份有限公司, 中国·甘肃 兰州 730070

摘要

当前, 石油钻井泥浆泵作为油田钻井的主要设备, 主要采用变频控制, 而泥浆泵的变频控制主要采用直接转矩控制 (Direct torque control, 简称DTC)。论文通过对泥浆泵变频系统的调试过程的总结, 验证了双电机同步采用转矩跟随的方式优于速度跟随, 并证实DTC控制可以提升钻井泥浆泵的变频控制效果, 实现控制效果的优化。同时, 通过对DTC控制原理的介绍, 对钻井泥浆泵的变频调速技术进行了分析, 说明DTC控制可提高钻井泥浆泵运行的稳定性与安全性。

关键词

直接转矩控制; 钻井泥浆泵; 变频; 速度控制

1 引言

石油钻井泥浆泵是油田钻井工作中重要的配套设备, 在钻探过程中用来给钻杆输送泥浆, 起到冷却、冲洗钻头等作用^[1]。泥浆泵的变频控制通常采用直接转矩控制。DTC是一种高性能的交流传动技术, 通过直接控制电机的磁通和转矩, 得到与被传动系统的负载需求更高的匹配精度。经过多年的改进优化, DTC技术性能一直持续不断地得到提升, 为多种应用提供了高质量的电机控制。其中, 在石油钻井泥浆泵变频控制中, 直接转矩控制就是典型的应用。

【作者简介】付晓颖(1989-), 女, 中国黑龙江人, 本科, 高级工程师, 从事非标自动化设计与开发研究。

2 泥浆泵概述

论文中所述泥浆泵为 F-1600 后置双交流变频电机皮带钻井泵组, 执行标准为 GB/T 32338《钻井和修井设备 钻井泵》和 API Spec 7K 第 6 版《钻井和修井设备》。该钻井泵组由 F-1600 钻井泵、两台交流变频电机、传动装置(包含电机底座、小皮带轮、大皮带轮、联组窄 V 带、皮带护罩)、大底座等组成^[2], 泵组相关参数如下:

① F-1600 钻井泵基本参数: 额定功率 1193kW; 额定冲数 120r/min; 齿轮速比 4.206 : 1; 冲程 305mm; 排出额定压力 20.7MPa; 最大缸径 $\Phi 190$; 最大排量 51.85L/s。

② 主电机基本参数: 额定功率 600kW; 额定电压 400V; 额定电流 1072A; 额定频率 49Hz; 额定转速 972r/min; 额定功率因数 0.85; 额定效率 95%; 额定扭矩 5895N·m;

恒功最高转速 1585r/min。

③其他参数：冷却风机功率 11kW；冷却风机电压 380V；润滑泵电机功率 2.2kW；喷淋泵电机功率 2.2kW；采用双边皮带轮，皮带轮直径 535/1025。

3 调试主要步骤

3.1 电机参数配置

根据变频器手册，进入相关参数组进行电机参数配置，主要参数有：电机类型、电机控制模式、电机额定电流、电机额定电压、电机额定频率、电机额定功率等，额定转速，所设置的参数必须符合电机铭牌上的值。

3.2 执行电机辨识运行

电机参数配置完成后，执行电机辨识运行。在电机辨识运行期间，传动将辨识电机的特性以优化电机控制。

3.3 DDCS 通讯的主从链接

论文所述的泥浆泵是由双电机驱动，而变频器主/从功能可将传动之间的负载平衡分配，根据手册进行电缆连接，并在相关参数组进行 DDCS 通讯配置、主/从机的激活、地址映射、运行模式等参数设置。

3.4 PLC 系统与变频器组态

变频器采用 PLC 作为外部控制系统，变频器通过增加现场总线适配器选件，可选择具有 PROFINET 现场总线协

议的通讯模块，用通讯线缆链接后进行 IP 地址配置，具体如图 1 所示。

3.5 其他参数配置

运行模式选择、启动/停止/方向信号源选择、启动/停止模式选择、速度给定选择、速度给定斜坡设置、频率给定控制链、传动操作限值、过程 PID 参数设置、参数换算设置、总线适配器设置等。实际上，各参数组的参数配置的过程就是传动控制内固件程序的编程过程，标准的参数有固定的选择设置或设定范围，如果需要定制化的程序功能，可以通过功能模块构建自定义程序。

4 变频器主从功能配置的注意事项

电机控制模式选用 DTC 控制，变频器主机通常选用速度控制，从机跟随其转矩或速度给定值。由于泥浆泵的两台电机的输出轴虽然连接的是柔性皮带，但两组皮带轮之间的轴是刚性耦合，对于从机应该选用转矩控制还是速度控制，现场进行试验，见表 1。

经现场试验，从机选择转矩跟随相比速度跟随，负载平衡性更好，故变频器从机应选择转矩跟随。

5 DTC 技术

在变频传动系统中，电机控制模式常用直接转矩控制和标量控制，可以选择标量控制作为电机控制方式，但在标

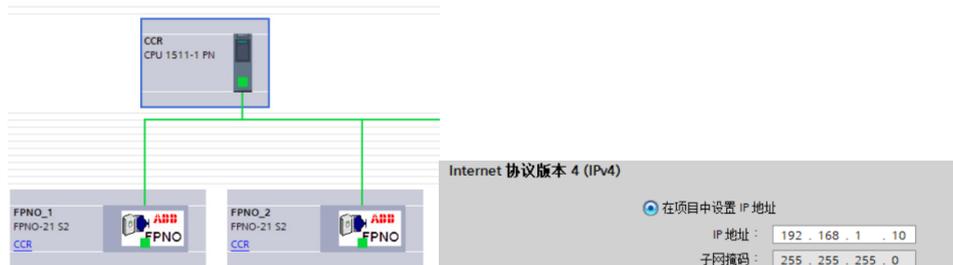


图 1 PLC 系统与变频器组态

表 1 从机速度跟随与从机转矩跟随

		从机速度跟随											
		第一组			第二组			第三组			第四组		
参数		转速	电流	转矩	转速	电流	转矩	转速	电流	转矩	转速	电流	转矩
1#		500	400	0.5	500	400	2.8	500	402	5.3	500	407	7.6
2#		500	407	6.9	500	413	9.9	500	418	12.5	500	430	15.5
工况备注	流量	30.3			26.9			26.7			26.7		
	压力	0			1			1.8			2		
		从机转矩跟随											
		第一组			第二组			第三组			第四组		
参数		转速	电流	转矩	转速	电流	转矩	转速	电流	转矩	转速	电流	转矩
1#		500	401	3.5	500	404	6.1	500	408	8.9	500	409	9.4
2#		500	401	3.2	500	403	6.3	500	408	8.7	500	409	9.1
工况备注	流量	30.3			26.9			26.7			26.7		
	压力	0			1			1.8			2		

转速单位: r/min, 电流单位: A, 转矩单位: %, 流量: L/s, 压力单位: MPa

量控制模式下,传动用一个频率/速度给定值控制,无法获得直接转矩控制下的高性能^[1]。而论文所述泥浆泵的变频控制基于直接转矩控制,主要从DTC技术的发展、控制原理及应用展开论述。

5.1 DTC 技术的发展

早在20世纪80年代,DTC理论就被德国的Blaschke博士提出,后各国传动厂商逐渐开始展开DTC的研究。DTC技术是经过直流电机传动、交流传动频率控制、交流传动矢量控制三个阶段发展而来的,与直流传动类似,是基于电机电磁状态来控制电机轴的转矩和速度。与传统的PWM方式不同,DTC不需要经过调节器进行复杂的脉宽调制,动态响应速度快。同时,不需要任何编码器或测速计等反馈装置,也是DTC的一大优点。

5.2 DTC 控制原理

DTC完整控制流程如图2所示。

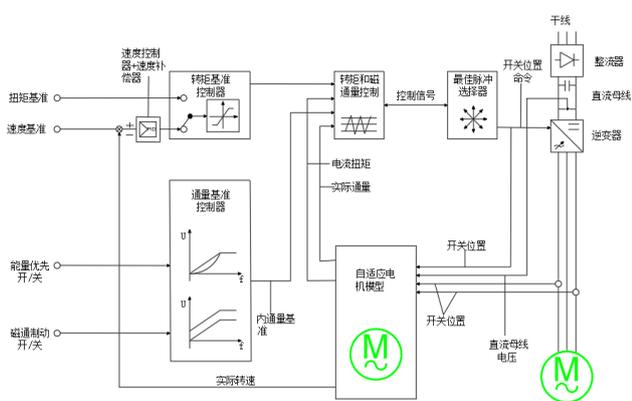


图2 DTC完整控制流程

其中,DTC控制技术核心如下:

①电压电流的检测。

电机两相的电流、直流母线电压和逆变器的开关状态可以被测量。

②自适应电机模型。

自适应电机模型来自电机的测量信息反馈,复杂的自适应电机模型是电机数据进行精确计算的关键。我们知道,配置变频器首先应进行电机参数设置,工程师会参考变频器手册,进入相关参数组进行电机参数设置,且所设置的参数必须符合电机铭牌上的值。电机参数设置完成后,激活电机辨识运行,传动会将精准的电机参数输入自适应电机模型中。而电机模型输出的控制信号直接体现了电机的实际转矩和实际磁通。同时,电动机的转速也是在电机模型中完成的。通常泥浆泵的变频控制中是不需要安装编码器或测速机等速度反馈设备的,这是因为DTC控制技术中的自适应电机模型可完成电动机实际轴速度的计算,并可满足95%以上的工业控制要求,这也是DTC传动的明显优点。

③转矩和磁通量控制器。

在转矩和磁通量控制器中,转矩和磁通量的实际值与

给定值以40000次/秒的速度不断进行比较,而转矩和磁通量的实际值是通过双滞环的控制模式计算出来的,这些信号被输送到最优脉冲选择器。

④最优脉冲选择器。

最优脉冲选择器的内部使用了最先进的数字信号处理器以及专用继承电缆硬件来确定逆变器开关逻辑,通过高速光纤的传输,处理速度可达到每25ms。逆变器的半导体开关装置收到一个脉冲来控制磁链运动或保持,以保证电机转矩的精确。在DTC完成每一次必要的开关的同时,电机模型会随时更新数据,电机轴可以快速响应,从而得到无编码器时±0.5%的精彩速度控制精度,以及低于2ms的转矩响应的高性能。

⑤转矩给定控制器。

由于转矩限幅和直流母线电压的显示,转矩给定控制器内部的速度控制输出被限制。

⑥速度控制器。

速度控制块由PID调节器和加速度补偿器两部分组成,外部速度给定信号与实际速度在电机模型中进行比较,误差信号进入PID调节器和加速度补偿器,控制块的输出为二者输出之和。

⑦磁通给定控制器。

定子磁链的绝对值从磁通给定控制器发送到磁通比较功能块,输出的半导体开关控制,可精确控制电机的定子磁通和转矩。转矩控制器的给定值来自速度控制器、直流电压控制器,或直接来自外部转矩给定值信号源。电机控制需要测量直流电压和电机两个相电流。电机转矩计算电机的定子磁通和转子电流的向量积。利用辨识的电机模型来改进定子磁通值。相对于传统控制,DTC最大的区别是转矩控制运行响应能达到电源开关频率的时间等级。没有单独的电压和频率的PWM调节器,输出的开关控制完全基于电机的磁通状态。

6 结语

在钻采石油钻进过程中,由于施工环境复杂,泥浆泵无法保持在同一种工况下平稳运行,需要在不同的泥浆环境下实现自我调节,这不仅要求泥浆泵能够实现快速的启动功能,还要有较强的环境适应能力和工况承载能力。如果电机和泥浆泵之间不匹配,就会给钻采钻机的工作带来各种问题,从而影响到工程的进度。这就要求电动泥浆泵的变频系统具备较好的反应能力,实现泥浆泵的高效和安全工作。

参考文献

[1] 徐建辉.石油钻机泥浆泵变频系统的配置与调试[J].电气传动自动化,2009(31):22-26.
 [2] 宝鸡石油机械有限责任公司,F-1600双交流变频电机皮带钻井泵组技术资料[Z].
 [3] ABB中国有限公司,ACS880变频器技术资料[Z].