

水平定向钻机电驱化改造研究

陈 翔

中石化江汉油建工程有限公司 湖北 武汉 430070

摘 要：水平定向钻机电驱化改造是指将传统的以燃油液压系统为动力的水平定向钻机改造为使用电力驱动电动机的方式。这种改造的主要目的是减少尾气排放，降低空气污染，提高设备的运行效率和可靠性，同时也符合越来越严格的环保要求。

关键词：水平定向钻机；电驱化改造；电动机；控制

1 水平定向钻机

随着环保政策的加强和新能源技术的发展，工程设备电驱化改造的市场前景看好。据预测，到2025年，新能源工程机械的渗透率将达到30%以上。特别是在叉车、装载机、挖掘机等领域，电驱化改造的需求将会快速增长。随着电池技术和电机技术的进步，电驱设备的性能和稳定性将得到进一步提升，使得电驱化改造更具吸引力。同时，政府可能会出台更多的支持政策，如补贴、税收优惠等，以促进电驱化改造的发展。水平定向钻机是一种利用钻头在地下钻出一条预定的水平或稍微倾斜的孔洞，主要用于管道敷设、电缆敷设、矿井开采等领域。它的主要工作原理是通过钻头的旋转和进给，配合泥浆系统的冷却和润滑，以及导向系统的精确控制，来实现钻头的水平定向钻进^[1]。



水平定向钻机如图所示

2 水平定向钻机现状与电驱化改造的必要性

目前，传统的水平定向钻机主要以柴油为动力，存在噪音大、排放污染高等问题。而电驱化改造可以有效解决这些问题，降低噪音污染，减少尾气排放，符合环保要求。同时，电驱化改造还能提高设备的运行效率和可靠性，延长设备使用寿命，降低维护成本。采用电驱

动力，使用清洁能源、基本无噪音，比传统柴油驱动钻机大大提升环保性；采用电驱动力，本项目采用电网供电经济，比传统柴油驱动钻机能源费上节约了30%左右；通过本次电动化升级改造，不但可以有效延长钻机的使用寿命，避免重复进行设备采购，提高设备利用率，使用清洁能源降低污染和碳排放量，节约施工成本和维护费用，而且电动钻机定向钻穿越对周围环境影响较小，具有广阔的市场前景，能够产生长远的社会效益。

3 电动钻机主要改造思路

电驱化改造是将传统的柴油发动机驱动液压系统改为由电能驱动电动机。电动钻机主要改造内容有动力分配输出系统、操作控制系统等组成，其中的技术关键是总体设计思路、电动机选型及电控形式。推拉及旋转机械部分改造的关键是驱动电机、减速机选型计算。驱动电机在满足钻机回拖力、扭矩的需求同时，尽量降低整体功率。电控部分的改造包括钻机操作速度与力量的控制、力量反馈与显示、钻机智能化改造、设备状态指示与故障报警等^[2]。

计划改造的是一台283吨水平定向钻机，该钻机改造前扭矩为108500Nm，推拉力为2773.4KN（283T）。改造需求：（1）电动水平定向钻机将整机工作装置液压驱动改为电驱；（2）水平定向钻机的最大推拉力为2500KN，行走速度为5-10m/min；（3）水平定向钻机的最大扭矩为120000Nm，旋转转速为20-30r/min。

4 主驱动电机选型与计算

基于利旧原则，原钻机旋转采用四组旋转减速机加液压马达，其中旋转减速比为1：40，推拉行走采用四组行走减速机加液压马达，行走减速比为1：25。由于电机转速远远大于原始液压马达转速，为降低转速，在原有减速机基础上增加一组1：5减速机，总减速比达到1：125。

4.1 IPM永磁同步电动机优点：（1）体积小重量

轻：采用高效钕铁硼永磁体，电机体积减小重量减轻。（2）损耗少效率高：无二次侧绕组，转子损耗接近“零”，电机效率提高。（3）电力省节能优：电机效率和功率因素高，节省电力且节能显著。（4）特性硬调速准：过载能力强、特性硬、无滑差，无编码器控制亦能精确控制。

电驱化钻机改造参数对照表

	改造前钻机基本参数	改造后钻机基本参数
动力源部分	发动机卡特C15392kw, 液压马达	发电机400KW, 车载电机
推拉机构	推拉力283吨, 行走速度7米/分钟, 四组行星减速机及液压马达, 2组刹车。	推拉力238吨, 行走速度7.2米/分钟, 利旧四组1:25行星减速机及新增1:5行星减速机组成1:125减速装置, 2组刹车。
旋转机构	旋转扭矩: 108500牛米, 33转/分钟, 2组刹车。	旋转扭矩: 120000牛米, 30转/分钟。
大钳机构	卸扣扭矩: 287300牛米, 紧扣扭矩: 189800牛米。	卸扣扭矩: 287300牛米, 紧扣扭矩: 189800牛米。
原钻机运输参数	长度16.5米, 宽度2.59米, 高度3.5米, 总重约45吨。	长度19.5米, 宽度2.59米, 高度3.8米, 总重48吨。

4.2 电机的计算及选型

(1) 旋转部分参数

旋转扭矩最终要求: 最大输出扭矩为不低于100000Nm, 额定转速为30rpm。

目前设备为四个旋转机位, 可使用4台电机同时工

作。根据减速比计算, 电机转速为1000rpm-1500rpm之间, 输出扭矩为625Nm。旋转1000rpm电机, 最终输出转速为25rpm, 旋转1500rpm电机, 最终输出转速为37.5rpm。

序号	电机转速rpm	电机扭矩Nm	功率Kw	最终钻机扭矩Nm	电机直径mm	电机长度mm
1	1000	525	55	84000	442	700
2	1000	716	75	114560	488	780
3	1500	572	90	91520	442	700
4	1500	700	110	112000	488	780

(2) 推拉部分参数

推拉部分分动箱减速比: 1级速比(1:5)(初步考虑, 可定制变更)2级速比(1:25)

钻机轨道长度约为10m。全程行走要求控制在1.5分钟之内。所以输出转速不低于6.7rpm。

目前设备为四个推拉机位, 可使用4台电机同时工作。根据减速比计算, 电机转速为1000rpm, 行走速度为8m/min。以单个电机输出50吨推力为例, 电机输出扭矩要求为627Nm。75吨推力为例, 电机输出扭矩要求为940Nm。100吨推力为例, 电机输出扭矩要求为1254Nm。

根据设计要求, 拟选用朗高水平定向钻机专用电机, 型号YQW3-225C2-10A-RA2; 变频器采用汇川车载变频器, 型号ICMD10系列双驱(LD32); 配套汇川车载整流单元, 型号ICMR10-250。从性能、空间尺寸、成本、可靠性等各方面进行综合比较, 最终选择此款专用电机, 主要特点和优势如下: (1) 参考国内制造厂商及多位专家的意见, 电机选永磁同步电机; 永磁同步电机具有高效率、快速响应、高转矩密度、低噪音和振动、高功率因数以及调速性能好等特点, 在电动汽车、机器

人以及其他工业应用中得到广泛应用。(2) 电机体积小, 适合车台安装, 价格低, 防护等级高; (3) 液冷型电机散热效率高, 噪音低, 体积小, 不需要考虑制作防护罩; (4) 电机安全要求高, 性能稳定, 性价比高; (5) 专用电机+车载变频器在工程机械的电动化中已得到广泛的应用, 如谷登、徐工等^[3]。

5 水平钻机的电控系统设计

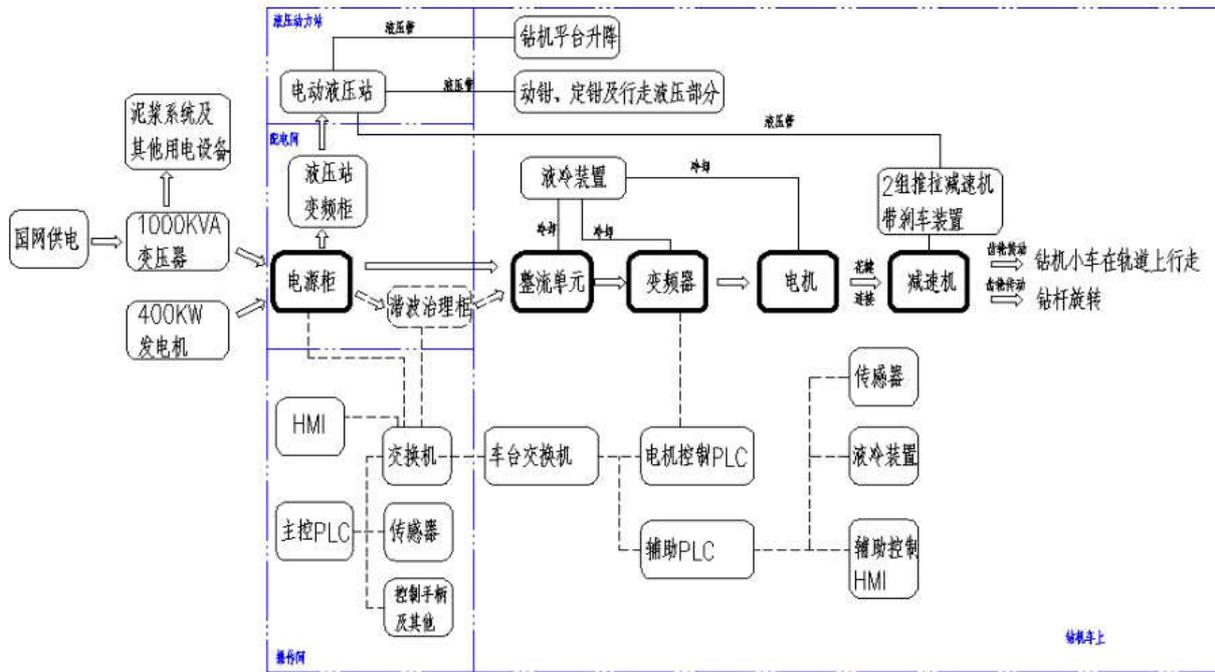
5.1 动力(电机)系统

动力(电机)系统主要是电机及变频器方案的选型, 这是各项控制的基础; 为了电机的控制运行可靠及控制模块化, 本系统采用的是将电机控制系统单独独立出来, 其主要功能是实现各工况下、各种特殊情况下电机的转速、转矩的控制; 辅助控制系统及HMI主要包括车台PLC(用于采集车台部分的各项参数), 远程控制室的PLC(其主要作用是对各辅助单元的采集数据及控制), HMI包括车台主控制界面(主要是各司钻控制有关的参数及控制界面)及远程控制室的控制界面(系统的全部详细参数及数据记录等), 这部分还包括云端数据传输及智能控制分析等工作。

5.2 控制系统

电机控制系统主要是根据司钻的控制命令进行判断并加以执行，主要是电机转速的控制，根据工况的不同，自动采用不同的控制方法，如轻负载情况下，采用主电机工作模式（主电机可以由用户选择，这样不用导致某一个电机超时间工作），在额定负载情况下采用主从模式（主电机采用转速控制，其它电机采用转矩跟随控制），在超负载情况下采用低转速大扭矩模式。另

外，控制系统针对特殊的情况采用相应的控制方法，如钻机卡转、堵转、某个电机出现工作故障，电机负载过大，电机电流异常等都要有评估和诊断、对外部供电的颤电等供电故障进行相应的处理。总之，水平钻机的控制核心即在此部分，控制的主要原则是控制迅速、安全，对电机、变频器、钻机等要有完善的保护方案。



电驱钻机控制总图

主控制系统的功能是根据司钻的命令对电机控制的方案进行选择，其不完成对电机控制模式的执行，其只是选择相应的控制方法，具体控制由第二部分的电机控制系统进行执行（即对变频器进行控制）。主控制器还要对第一部分的信号及其它系统（如配电系统参数、电缆温度、电流）的信号进行通讯或采集，以此做出一个综合的控制方法及系统保护的措施。总之，主控制系统是各个信息会集的中心，其完成主要的控制方法的制定及综合判断的功能^[4]。

HMI人机界面主要实现对配电部分、MCC房的柜体器件部分的参数的显示、后台参数的设置等功能。其主要显示的是一些部分主要参数和辅助功能的详细参数。辅助功能一般在这个HMI界面上实现。主界面主要是清楚简洁的显示主要的工作参数、报警信息，正常工作时的次要信息会以滚动条的形式或在其它界面显示。

结束语

在环保与能源转型的大背景下，水平定向钻机的

电驱化改造不仅是一项技术革新，更是对可持续发展理念的具体实践。通过本次改造研究，成功将传统的燃油液压系统替换为电力驱动系统，不仅大幅降低排放和噪音，而且提高设备的运行效率和可靠性。展望未来，随着技术的不断进步，电驱化水平定向钻机将在更多领域展现其独特优势，为推动产业升级和绿色发展贡献力量。

参考文献

- [1] 张伟, 刘明. 水平定向钻机电驱化改造技术研究与应用[J]. 工程机械. 2022. 53(1): 50-55.
- [2] 李强, 王晓燕. 电动化水平定向钻机的发展与改造趋势分析[J]. 机电产品开发与创新. 2021. 34(4): 15-18.
- [3] 陈斌, 马晓燕. 水平定向钻机电驱化改造的环境影响及经济效益评估[J]. 绿色环保建材. 2023. (2): 76-79.
- [4] 刘磊, 王勇. 电动技术在水平定向钻机改造中的应用研究[J]. 科技创新与应用. 2022. (10): 149-151.