

永磁直驱变频泥浆泵在雄安地热钻井中的应用

李超, 刘家荣, 郭坤, 刘文武, 王玉超

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 泥浆泵作为钻井主要配套设备, 在钻井施工中起着至关重要的作用。目前大功率电动泥浆泵中以交流异步电机驱动, 气胎离合器、中间车、皮带轮减速为传动方式的居多, 随着地热(干热岩)、页岩气等陆域清洁能源及深部资源勘探开发的需要, 对大功率电动泥浆泵也提出了更高的要求。在分析了雄安新区地热钻井项目的需求后, 选用了永磁变频电机直接驱动F-1300型泥浆泵的小齿轮轴, 这种方式具有传动结构简单、无级调速、节省能源、控制精度高的优势, 适应了地热钻井技术的发展要求, 提高了钻机的整体水平和作业能力, 提高了钻井效率和质量。

关键词: 永磁直驱; 变频泥浆泵; 地热钻井; 电力驱动; 雄安新区

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)02-0100-04

Application of the permanent magnet direct drive variable frequency mud pump in Xiongan geothermal drilling

LI Chao, LIU Jiarong, GUO Kun, LIU Wenwu, WANG Yuchao

(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The mud pump plays an important role in drilling as the main matching drilling equipment. At present, most of high-power electric driving mud pumps are driven by AC asynchronous motors with the combination of the air bladder clutch, bearing chock and pulley for transmission to achieve speed reduction. With the need of exploration and development of onshore clean energy such as geothermal (hot dry rock), shale gas, and deep resources, higher requirements are also put forward for high-power electric mud pumps. Through analysis of the requirements of the Xiongan new area geothermal drilling project, the variable frequency permanent magnet motor is adopted to drive directly the pinion shaft of F-1300 mud pump. It has the advantages of simple drive structure, stepless speed regulation, energy saving and high control accuracy, and caters to the development of modern geothermal drilling technology, upgrades the overall level and capacity of drilling rig, and improves drilling efficiency and quality.

Key words: permanent magnet direct drive; variable frequency mud pump; geothermal drilling; electric driving; Xiongan new area

0 引言

随着交流变频技术的发展, 钻机系统由交流变频驱动取代可控硅直流驱动, 交流变频钻机系统具有机械钻机和直流电驱动钻机无法比拟的优势, 成为行业趋势。随着地热(干热岩)、页岩气等陆域清洁能源及深部资源勘探开发的需要, 大功率、大排量和高泵压泥浆泵的需求量也随之增加。由于地质勘探工作环境的限制, 要求泥浆泵在结构方面外

形尺寸要小, 安装占地空间小, 并且需要满足大口径探采井取心时泵压、排量的要求^[1-7]。大排量泥浆泵作为钻井施工中的关键设备, 其性能水平和使用寿命直接影响着钻井速度和生产成本。

在各种形式的泵中, 往复式柱塞泵由于具有能在高压下输送高粘度、大密度、高含砂量液体的特性, 因而在钻井作业中得到了广泛的应用。目前, 国内多采用三缸单作用往复式钻井泵, 该泵存在

收稿日期: 2020-07-22; 修回日期: 2020-12-17 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.02.014

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“雄安新区地热清洁能源调查评价(北京探矿工程研究所)”(编号: DD20189625)

作者简介: 李超, 女, 满族, 1988年生, 工程师, 从事钻探设备、钻探工艺研究工作, 北京市海淀区学院路29号探工楼406, bjsuper@qq.com。

引用格式: 李超, 刘家荣, 郭坤, 等. 永磁直驱变频泥浆泵在雄安地热钻井中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(2): 100-103.

LI Chao, LIU Jiarong, GUO Kun, et al. Application of the permanent magnet direct drive variable frequency mud pump in Xiongan geothermal drilling[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2): 100-103.

着:(1)钻井泵和电机传动系统质量大,不利于设备的搬迁。(2)传动链较长,传动效率低,维护成本高。(3)驱动泵电机的用电量占钻机系统的50%以上,但在低负载率时功率因数和效率较低。(4)由于皮带轮的存在,导致泵小齿轮轴承受了皮带的径向力,继而影响了轴承寿命^[8-14]。

1 地热钻井对泥浆泵的性能需求

钻井过程中所需泵量,要满足泥浆从井底沿钻杆和井壁的环状间隙将岩渣返上井口的速度。井径越大,所需的泵量越大;上返速度快、携带岩屑能力强,但又不能对井壁产生冲刷,以免影响井壁的稳定。钻井过程中,泥浆泵的泵量必须满足钻井需要,不能过大也不能过小,泵量过小时岩屑不能及时排出增加了钻头的重复破碎量,并提高了钻头由于冷却不足带来的“烧钻”概率;在破碎地层泵量过大时会因冲刷增大了塌孔或埋钻的概率及对岩心的破坏作用^[15-16]。

北京探矿工程研究所承担的“雄安新区地热清洁能源调查评价”项目D20钻井工程,根据钻前工程设计:

(1)开孔用 $\varnothing 660.4$ mm钻头,钻穿第四系覆盖

层进入岩石层2 m,具体钻进深度根据实际钻遇地层确定。下入 $\varnothing 508$ mm表层套管,水泥固井,封固地表疏松层、风化层。

(2)一开用 $\varnothing 444.5$ mm钻头钻至井深532 m(穿过漏失层段,根据实际钻遇地层调整),下入 $\varnothing 339.7$ mm套管530 m,固井水泥返至地面。

(3)二开用 $\varnothing 311.2$ mm钻头钻至井深约2400 m,下入 $\varnothing 244.5$ mm套管约2400 m(根据实际钻遇地层及地层完整情况可调整),固井水泥返至地面。

(4)三开用 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻至井深3000 m,裸眼完井。

参考其他地热井施工中泥浆泵的应用,在刚下钻时需要使用小泵量使井内泥浆循环起来,然后再用大泵量进行正常钻进。在开孔及大口径井段时,需要使用大泵量循环上返泥浆以携带岩屑;随着井深增加,泵压较开孔阶段要增加。基于雄安地热钻井工程的井身结构,通过调研相关泥浆泵厂家产品的性能参数,选择了F-1300型泥浆泵配合北京探矿工程研究所自有的永磁直驱控制系统用于该工程中。该泵最大缸径180 mm,冲程长度305 mm,齿轮传动比4.206。F-1300型泥浆泵性能参数见表1(按容积效率100%和机械效率90%换算)。

表1 F-1300型泥浆泵性能参数

Table 1 Performance parameters of F-1300 mud pump

冲数/min	额定功率/kW	缸套直径/mm/额定压力/MPa				
		180/18.9	170/21.1	160/23.9	150/27.2	140/31.2
排量/(L·s ⁻¹)						
130	1036	50.42	44.97	39.83	35.01	30.50
120	956	46.54	41.51	36.77	32.32	28.15
110	876	42.64	38.05	33.71	26.92	25.81
100	797	38.78	34.59	30.64	26.93	23.46
90	717	34.90	31.13	27.58	24.24	21.11
1		0.3878	0.3459	0.3064	0.2693	0.2346

2 永磁直驱变频泥浆泵的整体结构

根据泥浆泵的特性可知,泵量与冲数成正比。在相同的缸套直径下,泵量和电机转速成正比,泵压和电机转矩成正比。正常钻进中,泥浆泵的泵量和泵压均在额定点以下使用(对于泥浆泵电机端来说相当于低负载使用),而泥浆泵驱动电机的选型往往大于正常钻进时实际需要,导致正常钻进时驱

动电机负载率低。

永磁电机具有高功率因数和高效率、功率因数随负载变化很小的特性,可实现低速大扭矩。以其作为泥浆泵的驱动电机,既可以简化泥浆泵的传动结构,又可以达到节能的目的。

F-1300型泥浆泵的大小齿轮传动比4.206,选用直驱该泵的永磁电机的额定功率1000 kW,额定电压660 V,额定转速504 r/min。永磁同步电动机

直接通过联轴器与泵小齿轮轴相联,取消传统泥浆泵的皮带、皮带轮、中间车、气胎离合器。电机轴与小齿轮轴联接为球笼式联轴器,易装拆。冷却风机固定于电机的上部,强制风冷。参见图1。



图1 F-1300型永磁直驱泥浆泵在雄安地热钻井应用现场

Fig. 1 F-1300 permanent magnet direct drive mud pump in Xiongan geothermal drilling

泥浆泵永磁电机配合变频控制系统,采用矢量控制模式实现无级调速。无级调速的优势在于泵压在较小范围内运行时,即电机额定转矩以下,可以实现恒泵压下泵量的无级调节,泥浆泵负载大小

对电机效率和功率因数影响不大。当遇阻或泵压加大时,电机运行于额定转速以下,用于钻井过程中的固井或井下事故处理。在破碎地层取心需改变泵量时,只需调节电机工作频率,不需要更换缸套,此工况尤其适合地质钻探中取心和全面钻进交替进行的情况。在本例中电机工作频率 <84 Hz(额定频率)运行时,泥浆泵电机工作在恒转矩区间,泥浆泵电机始终维持较高的效率和功率因数,在整个钻井期间节能效果明显。

永磁直驱变频泥浆泵操作控制接入司钻房的一体化座椅中,司钻可以远程操作泥浆泵启停并调节泵量,一体化座椅上的与该泵相关的操作按钮与钻机其它部分操作按钮分区供电,保证了钻井期间钻机绞车、转盘/顶驱在检修时泥浆泵仍能正常工作。

3 现场应用

根据雄安D20地热钻井工程施工期间的数据统计,钻遇各地层期间泥浆泵的泵压和泵量数据见表2。

表2 永磁直驱变频泥浆泵运行情况

Table 2 Performance of the permanent magnet direct drive variable frequency mud pump

钻进地层	永磁直驱变频泥浆泵运行情况
第四系覆盖层	开孔阶段,泵量39~30 L/s,泵压0.3 MPa。随着井深的增加,泵量维持在30 L/s,泵压由1 MPa逐渐增加至3 MPa
新近系明化镇组	泵量维持在32 L/s,泵压由1 MPa逐渐增加至3 MPa。取心期间,泵量维持在20 L/s,泵压控制在3 MPa
蓟县系雾迷山组	泵量维持在32 L/s,泵压5~6 MPa。取心期间,泵量维持在30 L/s,泵压控制在3 MPa
蓟县系高于庄组	泵量维持在30 L/s,泵压维持在4 MPa左右。取心期间,泵量维持在30 L/s,泵压控制在3 MPa
震旦系大红峪组	泵量维持在30 L/s,泵压在4~6 MPa之间波动。取心期间,泵量维持在30 L/s,泵压控制在3 MPa
太古宇	泵量维持在30 L/s,泵压在3~6 MPa之间波动。取心期间,泵量维持在30 L/s,泵压控制在4 MPa

实际钻井过程中,发生了下钻后开钻泵压陡然升高的情况,排除地面因素并大距离活动钻具后,初步判断钻头水眼堵塞。采用0~1 Hz启动永磁直驱泥浆泵,利用永磁电机的悬停模式,当泵压接近于泥浆泵安全阀设定压力值时,泵冲减速为零,提升并回转钻具,多次尝试后,泵压在14 MPa时成功将堵塞水眼冲开,恢复正常钻进。区别于交流异步电机驱动的泥浆泵,永磁直驱泥浆泵采用超低泵冲处理堵塞水眼,减少了提钻次数,节省了钻探生产成本。

永磁直驱变频泥浆泵在雄安地热钻井中的应

用,表现出了噪声低、节能、操作便捷、排量无级调节的优势。

4 结论

在雄安D20地热井钻井工程中,永磁直驱变频泥浆泵控制系统接入司钻房,便于司钻人员操作,实现泵量的无级调节,钻井过程中可随时调节泵量,满足了大口径地热钻探中的取心要求。

新型永磁直驱泥浆泵的综合性能优于传统电驱动泵组:

(1)与传统泥浆泵组相比,结构更加紧凑合理,质量轻、搬迁运输成本低。

(2)取消了中间传动装置(皮带、皮带轮、中间车、离合器等),减少了一级传动,较传统电驱泥浆泵提高了传动效率,减小了噪声和振动。

(3)永磁电机直接装到原来大皮带轮的位置,免去了皮带张紧维护,消除了皮带的传动损耗,减轻了钻工的劳动强度。

(4)工作时,泵小齿轮轴轴头仅承受电机转矩和自身的载荷,不承受带传动或链传动所带来的张力的作用,小齿轮轴的受力情况得到了明显的改善,轴、齿轮、轴承的工作寿命显著提高。

参考文献(References):

- [1] 贾振勇.石油钻井用泥浆泵的工作原理及日常维护探析[J].环球市场,2019(18):337.
JIA Zhenyong. The mud pump working principle and daily maintenance for oil drilling [J]. Global Market, 2019(18):337.
- [2] 王玉吉.BW1200型泥浆泵在地热井施工中的应用[J].探矿工程,2002(2):31-32.
WANG Yuji. Application of BW1200 mud pump in geothermal well drilling[J]. Exploration Engineering, 2002(2):31-32.
- [3] 范存章,赵岩.山东商河地区地热井钻效分析[J].中国煤炭地质,2013(11):63-65.
FAN Cunzhang, ZHAO Yan. Geothermal well drilling efficiency analysis in Shanghe area, Shandong [J]. Coal Geology of China, 2013(11):63-65.
- [4] 杨洪彬,皮微微,王禹,等.吉林伊通地热井钻井液设计及重点技术要求[J].西部探矿工程,2013,25(8):55-61.
YANG Hongbin, PI Weiwei, WANG Yu, et al. The drilling fluid design and key technical requirement in Yitong geothermal well, Jilin [J]. West-China Exploration Engineering, 2013, 25(8):55-61.
- [5] 柴喜元,雷泽勇,刘晓阳,等.小口径深孔绳索取心钻探用泥浆泵性能参数计算[J].地质装备,2018,19(4):7-14.
CHAI Xiyuan, LEI Zeyong, LIU Xiaoyang, et al. Calculation of performance parameters of mud pump in small-caliber deep hole wire line core drilling[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(4):7-14.
- [6] 郑海旺.分析3NB-350型泥浆泵的节能改造[J].化工管理,2019(34):153-154.
ZHENG Haiwang. The analysis of energy saving reconstruction of 3NB-350 mud pump[J]. Chemical Enterprise Management, 2019(34):153-154.
- [7] 曾兴昌,宋志刚,黄悦华,等.大功率钻井泵发展现状与应用[J].石油矿场机械,2014(9):56-59.
ZENG Xingchang, SONG Zhigang, HUANG Yuehua, et al. Presence and application of large power drilling pump [J]. Oil Field Equipment, 2014(9):56-59.
- [8] 张廷威,张沛.1000HP泥浆泵组的优化设计[J].河南科技,2019(19):57-59.
ZHANG Tingwei, ZHANG Pei. The optimal design of 1000HP mud pump unit [J]. Journal of Henan Science and Technology, 2019(19):57-59.
- [9] 欧阳志强,贺建波,石卫民,等.5000米智能地质钻探配套泥浆泵的方案设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):53-57.
OUYANG Zhiqiang, HE Jianbo, SHI Weimin, et al. Conceptual design of the mud pump for 5000m intelligent geological drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(4):53-57.
- [10] 卢杉.轻型钻井泥浆泵的研制与开发[J].焦作大学学报,2018,32(1):77-79.
LU Bin. Development of light drilling mud pump [J]. Journal of Jiaozuo University, 2018,32(1):77-79.
- [11] 李宗义,王安平,文宏,等.BW380/8型往复式泥浆泵的研制[J].装备制造技术,2015(1):112-114.
LI Zongyi, WANG Anping, WEN Hong, et al. Development of the BW380/8 reciprocating mud pump [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2015(1):112-114.
- [12] 焦清朝,刘永勤,齐然,等.国内外轻便泥浆泵的现状与发展趋势[J].石油矿场机械,2004,33(S1):28-31.
JIAO Qingchao, LIU Yongqin, QI Ran, et al. The actuality and trend of the portable mud pump in China and world [J]. Oil Field Equipment, 2004,33(S1):28-31.
- [13] 汤宏兵.对钻井泥浆泵带泵传动方式的对比和探讨[J].科技传播,2011(2):163-164.
TANG Hongbing. Comparison and analysis of drilling mud pump with pump transmission mode [J]. Public Communication of Science & Technology, 2011(2):163-164.
- [14] 王铁军.泥浆泵优化设计改造探讨[J].商情,2020(11):202.
WANG Tiejun. Discussion on optimization design and transformation of mud pump [J]. Business Information, 2020(11):202.
- [15] 李韬,张增年.F2200HL和F1600HL泥浆泵现场使用情况分析[J].设备管理与维修,2020(1):33-34.
LI Tao, ZHANG Zengnian. The situation analysis of field application for F2200HL & F1600HL mud pump [J]. Plant Maintenance Engineering, 2020(1):33-34.
- [16] 孙松尧.钻井机械[M].北京:石油工业出版社,2006:26.
SUN Songyao. Drilling machinery [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006:26.

(编辑 荐华)