

深井钻机柴改电升级改造及其应用

宋秋锋, 张西坤, 宋 伟, 苏艳科, 范建增, 李雪峰

(河北建勘钻探设备有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要:针对柴油机驱动存在的可靠性低、钻井成本高、环境污染大等问题,提出将传统的柴油机驱动钻机改造为电驱动钻机的节能环保升级改造方案。直接利用工业电网作为动力源,对钻井的动力驱动系统进行优化,在地热井施工、石油钻井施工和其它深井钻井施工中中得到广泛的应用。实践证明,柴改电升级改造在节能环保方面效果明显,提高了钻机运行的可靠性、先进性、经济性和安全性,达到了预期的目的。

关键词:深井钻机;动力改造;节能;环保

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)09-0046-06

Upgrading of deep well drilling rig from diesel drive to electric drive and its application

SONG Qiufeng, ZHANG Xikun, SONG Wei, SU Yanke, FAN Jianzeng, LI Xuefeng

(Hebei Construction and Exploration Drilling Equipment Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: In light of low reliability, high drilling cost and environmental pollution with diesel driven deep drilling rig, this paper puts forward an energy-saving and environment-sound upgrading scheme for transforming the drilling rig from traditional diesel-drive into electric-drive. Industrial power grids was directly used as power supply to optimize the power drive system of the drilling rig. Extensive application in deep well drilling such as geothermal wells oil wells, has proved that the upgrading from diesel drive to electric drive has resulted in energy saving and environmental protection, and improved the reliability, superiority, economics and safety of drilling rig operations, achieving the desired purpose.

Key words: deep well drilling rig; power transformation; energy saving; environmental protection

当前我国在大力推行节能减排、广泛实施环境影响评价的大环境下,对各行业节能减排的要求越来越高,高耗能、高污染的传统深井钻机已经不能适应时代发展的要求。尤其是在石油、天然气、页岩气、地热等深井钻井作业过程中,工程投入大、社会影响大、节能降耗效果显著,已经引起国家、社会和企业的高度关注^[1-3]。比如,雄安新区地热施工环保要求很高,因为柴油机运行过程中会产生有毒有害气体排放,柴油机运行过程中会有超标噪声污染,柴油机维护保养产生的油污外溢会造成环境污染,所以不允许使用柴油机动力。再比如,油田既是产能大户也是耗能大户,随着生产规模的不断扩大,

各大油田对节能降耗和降本增效等方面有了新的更高的要求,把节能降耗看作是与生产创收同等重要的工作来抓,都在深入开展节能降耗活动,可以说,节能降耗已经成为油田一项新的经济效益增长点。结合“节能、环保、降耗、增效”的新要求,对钻井的动力驱动系统进行优化,研制新型深井钻机动力系统,提高能源的利用率,满足节能环保要求,是很有必要的。因此,深井钻机柴油机驱动改为电机驱动节能环保升级改造成为深井钻井工程发展的必然趋势^[4-6]。

1 钻机动力改造的必要性

目前各型深井钻机主要是以柴油机提供动力,

收稿日期:2020-03-05; **修回日期:**2020-07-31 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.09.008

作者简介:宋秋锋,男,汉族,1981年生,总经理,高级工程师,机械制造与工艺教育专业,从事钻探设备的销售及研究开发工作,河北省石家庄市装备制造基地沙河大道1号,741322417@qq.com。

通信作者:张西坤,男,汉族,1968年生,副总经理,总工程师,首席工程师,教授级高级工程师,注册安全工程师,注册一级建造师,硕士生导师,机械工程专业,硕士,从事钻探设备的研制开发和技术管理工作,河北省石家庄市装备制造基地沙河大道1号,1059580109@qq.com。

引用格式:宋秋锋,张西坤,宋伟,等.深井钻机柴改电升级改造及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):46-51.

SONG Qiufeng, ZHANG Xikun, SONG Wei, et al. Upgrading of deep well drilling rig from diesel drive to electric drive and its application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):46-51.

由于柴油机(特别是服役年限长、大修过的柴油机)普遍存在可靠性差、油耗高、噪声大、跑冒滴漏等现象,对钻井经济效益、劳动强度和环境污染有重要影响,存在着一系列的经济和社会问题。

(1)能耗利用率低:柴油机钻井过程中普遍存在负载率低,余功浪费现象,能耗利用率较低。

(2)生产成本升高:柴油消耗造成钻井成本居高不下,随着国内石油资源供需矛盾的逐渐加大,成品油价不断提高,将直接造成总成本的升高。

(3)环境污染严重:柴油在燃烧过程中会产生大量的碳烟微粒和氮氧化合物等污染物,造成环境污染。另外,维护保养产生的油污外溢也会造成环境污染。

(4)噪声污染扰民:柴油机在运转过程中还会产生高分贝(90 dB 以上)的噪声污染,影响周边人群的生活。

(5)搬迁运输不便:柴油机自身尺寸较大,每次运输不但增加了车次,还增加了不少搬迁时间和搬迁费用。

(6)操作维护困难:柴油机运行可靠性差,故障率高,需要配备多名专业操作和维修人员,增加了维护保养费用及劳动强度。

(7)工艺适应性差:柴油机不能进行速度调节,无法完全适应固井、定向井、水平井等特殊钻井工艺的要求。

当前,“节能降耗、绿色发展”理念已成为时代发展的趋势,而节能减排、降耗增效也成为降低成本、实现可持续发展的途径之一。因此,将现有深井钻机进行节能技术改造,对降低生产的能耗有着重要的作用,会产生多方面的经济效益和社会效益。

2 深井钻机柴改电升级改造技术方案

以 ZJ50 型钻机为例进行分析和说明。

ZJ50 型钻机柴改电节能环保升级改造方案遵循“工作可靠、运行经济、性能先进、运移方便、满足 HSE 要求”的原则,采用正确可靠的防爆、防震、防潮、防水、防蛇、防鼠患等措施,符合安全操作要求。

ZJ50 型钻机柴改电节能环保升级改造方案基本技术要求:

(1)配套的高低压电气设备、电缆及附件的设计选型、制造、测试和高压电缆布线严格执行国家相关电气标准和安全规程。改造设备采用国内经过实

践证明可靠的技术和设备,确保产品质量。

(2)技术方案充分考虑钻机动力系统的工作特性,在动力机组匹配、高压变配电系统、软启动装置+电机控制操作系统、应急动力及供电系统、机—电—液保护和安全互锁等方面满足钻机的工作性能与钻井工艺的要求^[7-10]。

(3)钻机改造的总体布局合理,满足吊装、铁路运输的要求,所有模块均适合铁路、公路运输,不超限。

2.1 主要技术方案

ZJ50 型钻机柴改电节能环保升级改造方案就是利用施工现场的高压网电,让高压网电经变压器、无功功率补偿装置、滤波装置等进行处理,并将处理后输出的低压交流电输入电控系统(VFD、SCR)驱动交流电机带动并车箱驱动绞车、转盘和泥浆泵等设备工作,实现钻井作业。在升级改造设计方案中,除了留一两台柴油机作为应急备用外,其余的柴油机全部由与柴油机功率相匹配的交流电动机代替。增加 10/0.69(0.4) kV - 3150 kVA 干式变压器、高低压开关及保护柜、动态消谐与功率补偿装置、软启动装置等处理高压网电,处理后输出的交流电驱动交流电动机,电动机与并车箱通过联轴器、调速液力耦合器、离合器连接,带动并车箱运转。机械钻机网电改造技术方案见图 1。

(1)钻机的井架、底座、游吊系统、绞车、转盘、泥浆泵、固控系统、辅助发电机组、转盘、MCC 系统等设备均不做改动,仅对后台动力机组及相关电气部分进行改造。

(2)原钻机后台为三机联动的柴油动力机组,重新设计制造 2 台电动机组(1000 kW、1492 r/min 三相异步电动机+调速型液力耦合减速箱)代替原配备的 2 台柴油动力机组(柴油机+液力耦合减速箱),为钻机后台提供动力,另 1 台柴油动力机组作为在工业电网停电时的应急作业备用。

(3)每套电动动力机组由 1 台 1000 kW、660 V 异步电动机、调速型液力耦合减速箱、大底座、联轴器、护罩及连接件等组成。

(4)2 套电动动力机组分别通过万向轴与并车传动箱联接,为钻机提供动力,且结构相同,可完全互换。

(5)电机动力机组与柴油机动力机组能够进行互换,在不满足工业电网供电的条件下,可以恢复到改造前柴油机动力机组驱动钻机的状态。

(6)增加 1 套高低压变配电系统(简称高压房)。

表 1 高压房主要器件技术参数

Table 1 Technical parameters of the main components of the high voltage room

序号	器件名称	项 目	参 数
1	变压器	材质	铜芯
		相数	3 相
		安装场所	户内
		高压侧调压方式	无载
		原边额定电压	10 kV
		联结组别	Dyn11
		绝缘等级	F
		额定容量	3150 kVA
		额定频率	50 Hz
		分接范围	+/-3×2.5
2	断路器	额定阻抗电压	7%
		额定电压	40.5 kV
		额定电流	1250 A
		额定频率	50 Hz
		额定绝缘水平	工频耐压有效值:95 kV/1 min 雷击冲击耐压峰值:185 kV
3	断路器	操作方式	电动操作
		额定短时开断电流	31.5 kA
4	综合保护装置	3200AF/3200AT,65kA	
		IC 对称、固定安装 ABB 断路器,带有 LI 固态跳闸保护装置	

低压房主要包括 1 台 690 V 电源进线柜、2 台 690 V 软启动电源柜、2 台电子软启动柜、2 台 400 V 开关柜、2 套无功补偿及谐波抑制柜、1 台综合控制柜、1 台工具柜等。柜壳防护等级为 IP30。低压房一次系统图见图 3。

(1)690 V 开关柜主要完成电网供电以及给 2 台 1000 kW 电动机组供电的功能,主要有 3200AF/3200AT、65KA IC 对称、抽屉式安装 ABB 断路器,带有 LI 固态跳闸保护装置;1600AF/1250AT、65KA IC 对称、抽屉式安装 ABB 断路器,带有 LI 固态跳闸保护装置;电压表(0~750 V);电流表(0~1600 A)。具有接地检测、故障报警、带电显示等功能,以切实有效的手段保证人身安全,满足 HSE 要求。

(2)400 V MCC 房电源柜给钻机 MCC(电机动力控制中心)系统供电。

(3)400 V 电源进线开关柜主要用于变压器的副边保护以及为 MCC/VFD 房供电,包括有 2000AF/2000AT、65KA IC 对称、固定安装 ABB 断路器,带有 LI 固态跳闸保护装置;400 V 顶驱供电 1 250AF/1250AT、65KAIC 对称、固定安装 ABB 断

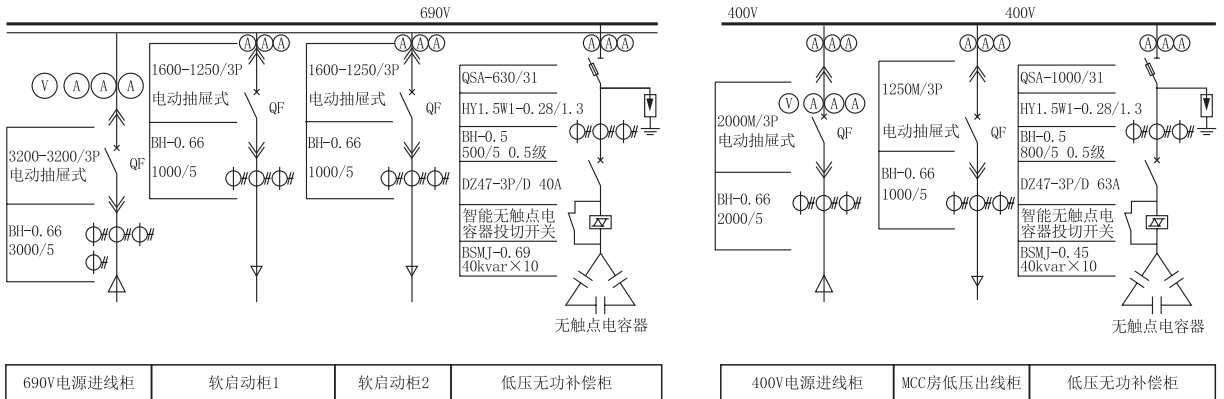


图 3 低压房一次系统图

Fig.3 Low-voltage room primary system diagram

路器,带有 LI 固态跳闸保护装置;630A 井场供电断路器;400A 营地供电断路器;100A 井场供电断路器;电压表(0~500 V,加转换开关);电流表(变压器副边配 4 只,出线断路器各配 1 只)。具有接地检测、故障报警、带电显示等功能,以切实有效的手段保证人身安全,满足 HSE 要求。

(4)电子软启动及电机运行柜,一台启动柜一拖一起动一台电动机,并自动被内置旁路接触器旁路运行,主要有 1600AF/1250AT、65KA IC 对称、固

定安装 ABB 断路器,带有 LI 固态跳闸保护装置; PSTB1050-690-70 软启动器,内含运行接触器(ABB);电机启动指示灯(白色);电机全压运行指示灯(绿色);多功能电力仪表(含电压、电流、有功功率、无功功率、电度、频率等指示);计时表(进口)。电子软启动器主要技术参数见表 2。

(5)无功补偿及谐波抑制柜。钻机系统谐波对电网有一定干扰,针对钻井实际工况,采用对 5、7 次谐波进行抑制。无功补偿及谐波抑制系统共配有

表2 电子软启动器主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of the electronic soft starter

项 目	参 数
额定绝缘电压	690 V
额定工作电压	400~690 V
额定控制电源电压	100~250 V 50/60Hz
频率波动范围	+5%
额定脉冲耐受电压	2 kV
额定电流	1050 A
启动容量	在最大额定电流 I_e 时: $3 \times I_e(15 \text{ s})$
启动时间	1~30 s, 现场可调

800 kV AR 无功补偿装置,根据补偿容量的需要自动投切补偿电容量,保证系统功率因数 ≤ 0.93 。无功补偿柜配有指针式功率因数表。

(6)远程操作控制箱是综合控制柜,主要含有低压房与电控台之间的电气转接端子和电动机加热供电、房内空调供电、房内照明供电开关等。操作控制箱安装在司钻工可操作的范围内,主要完成变频电机和控制系统的起停、电压指示、电流指示、功率指示、转矩指示、转速指示、故障指示、调速控制(手轮)、单机和并机运行选择等操作和显示功能。箱体为不锈钢结构,具有防水、防尘、防震和防爆等功能,满足施工现场使用工况。

2.2.3 电动机组

ZJ50 型钻机柴改电节能环保升级改造方案共有 2 套电动机组,电动机组底座安装尺寸与原柴油机安装尺寸相同,可以替换原有柴油机,2 套电动机组也可以实现互换。电动动力机组设计为一个整体拖撬,替换原有的柴油机。电动机技术参数见表 3。

表3 电动机技术参数

Table 3 Motor technical parameters

项 目	参 数	项 目	参 数
额定电压	660 VAC	额定功率	1000 kW
额定转速	1492 r/min	额定电流	990 A
额定频率	50 Hz	额定效率	96%
防护等级	IP54	额定功率因数	0.90
工作制	连续制(S1)	冷却方式	自扇冷(IC411)

电动机动力传动采用了调速液力耦合器。其作用一是保护了电动机,避免其过载、堵转而烧坏;二是使得每台电动机出力均衡;三是起到缓冲、吸振、柔性传递的作用;四是采用高压电控系统集中控制,自保功能全,安全性、可靠性高,操作简便;五是可用于多种类型的钻机。既可以用于新制造钻机,也可以用于对现在使用的多台柴油机驱动,通过链条或皮带并车的钻机进行技术改造和技术升级;六是到没有

电网的地方作业时,可以极其方便快捷地把电动机换成柴油机,恢复原驱动形式。调速型液力耦合减速箱技术参数为:卧式,额定输入转速 1492 r/min,输入功率 1000 kW,额定输出转速 660 r/min,输出轴旋向为面向输出轴逆时针方向旋转,最高效率 96%,独立强迫风冷,最大转矩倍数 2.5,输出轴中心高 760 mm。

3 工程应用及效果

中国煤炭地质总局第四水文地质队用柴改电节能环保升级改造系统在环境保护管控最为严格的京津冀区域尤其是雄安新区进行地热井施工,能源消耗大幅减少,钻井成本明显降低,满足了雄安新区施工各项环保要求,收到了良好的效果。

江苏煤炭地质勘探二队应用柴改电节能环保升级改造系统在内蒙古乌审旗进行石油钻井施工,在安徽淮南进行羽状分支井施工,都取得了很好的节能效果。

多项施工应用实践证明,柴改电节能环保升级改造节能可达 40%以上,总钻井成本减少约 45%~65%,降低 CO₂ 排放 30%,噪声 $< 60 \text{ dB}$,机械钻速提高了 35%,搬迁费用降低 10%,搬迁时间缩短 20%,综合经济效益明显^[11-15]。

4 结论

深井钻机柴改电节能环保升级改造就是钻机动力不再使用柴油机,而是采用 10 kV 电网的电力,践行了“节能降耗、绿色发展”的理念,达到了节能减排、降耗增效的目的,大大地提高了钻机的先进性、可靠性和安全性,产生了显著的经济效益和社会效益。

(1)节能效果明显:电动机传动效率高,减少了能源消耗,电价在不断调低,相比柴油价格在不断上涨,用电的低投入和高产出的双重效应,使得柴改电的节能效果十分明显,电动机传动采用优质补偿电容器对电机进行直接无功就地补偿,节能效果显著。

(2)大大减少了环境污染:用电动机动力故障率低、免维护,没有跑、冒、滴、漏、油污外泄的环境污染,没有烟尘和有毒有害气体排放的环境污染,没有噪声扰民的环境污染,符合 HSE 的规范要求,环境保护效果显著。

(3)节约钻井成本:深井钻机柴改电节能环保升级改造除了系统本身能够降低钻井能源消耗费用外,如果计入柴油发电机组的运行维护、备品备件、

燃油运输等费用,总体钻井动力成本降低更为明显。

(4)工作效率提高:电机动力传动负载率低,没有余功浪费,电动机功率大、转速高、超载能力强,带动泥浆泵排量大、泵压高,带动转盘转速高、扭矩大,显著地提高了钻井速度,工作效率高。

(5)搬迁运输方便:电机动力传动结构紧凑,外形尺寸小,质量轻,搬迁运输方便,减少了搬家车次,大大缩短了搬迁时间。

(6)劳动强度降低:电机动力传动可靠性好,故障率低,自动保护功能齐全,基本实现无人看护,不需要进行维护保养,大大降低了工人的劳动强度。

(7)工艺适应性好:电机动力传动能进行速度调节,实现了无级调速,动力匹配合理,能更好地满足顶通循环、压井、固井替浆、水平井、定向井等特殊工艺要求,并提高了处理复杂事故的能力。

深井钻机柴改电升级改造存在的问题及建议:

(1)需要向电力主管部门办理电力系统报装、审核、验收、送电手续,协调沟通工作量大,过程时间长,应提前筹划,以免影响工程顺利实施。

(2)可以在此基础上进一步研究和完善柴改电变频启动和变频调速等延伸功能。

参考文献 (References):

- [1] 陈红卫,卢国建,曹志魁.ZJ70LDB 钻机网电改造技术方案研究[J].科技展望,2015(13):103.
CHEN Hongwei, LU Guojian, CAO Zhikui. Study on the technical scheme of ZJ70LDB drilling rig electric network transformation[J]. Technology Outlook, 2015(13):103.
- [2] 黄仲华.钻机网电改造的效果分析与发展对策[J].石油天然气学报,2014,36(6):164-166.
HUANG Zhonghua. The effectiveness analysis of electric network reconstruction for drilling units and development countermeasures [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014,36(6):164-166.
- [3] 张怀.超深井钻机网电改造技术及推广应用[J].石油矿场机械,2011,40(7):77-80.
ZHANG Huai. Introduction and application of network power alternation technology in the high-deep well[J]. Oil Field Equipment, 2011,40(7):77-80.
- [4] 高岩.机电复合钻机变频网电改造技术及应用[J].石油矿场机械,2014,43(1):93-95.
GAO Yan. Transformation technology and application of frequency conversion network and electricity of electromechanical composite drilling machine[J]. Oil Field Equipment, 2014,43(1):93-95.
- [5] 曹世伟.钻机网电设备改造实施对策[J].江汉石油职工大学学报,2018,31(6):55-57.
CAO Shiwei. Implementation countermeasures for grid drilling equipment upgrading[J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2018,31(6):55-57.
- [6] 郭振.ZJ32J 钻机改造方案研究[J].石化技术,2019,26(2):

170,190.

GUO Zhen. Study on ZJ32J drilling rig transformation scheme[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019,26(2):170,190.

- [7] 方永春,廖明.钻机动力电代油改造方案分析[J].新疆石油科技,2017,27(1):39-44.
FANG Yongchun, LIAO Ming. Analysis on the transformation scheme of drilling rig power electricity replacing oil[J]. Xinjiang Petroleum Science Technology, 2017,27(1):39-44.
- [8] 高讯.石油钻机节能与储能改造技术的研究与应用[J].科技与创新,2018(14):52-54.
GAO Xun. Research and application of energy saving and energy storage transformation technology of oil drilling rig[J]. Science and Technology & Innovation, 2018(14):52-54.
- [9] 张晓广.伊拉克米桑油田深井水平井钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):24-28.
ZHANG Xiaoguang. Drilling technologies for deep horizontal well in Iraq Missan Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(11):24-28.
- [10] 卢周芳.浅谈石油钻井节能减排的途径与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):82-84.
LU Zhoufang. Discussion on ways and countermeasures for energy saving and emission reducing in petroleum drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(10):82-84.
- [11] 张金成,牛新明,张进双.超深井钻井技术研究及工业化应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):3-11.
ZHANG Jincheng, NIU Xinming, ZHANG Jinshuang. Research and industrial application of drilling technology of ultra-deep wells [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(1):3-11.
- [12] 闫光庆,张金成,赵全民.普光气田超深井钻井技术的进步与思考[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):38-42.
YAN Guangqing, ZHANG Jincheng, ZHAO Quanmin. Progress of ultra-deep well drilling technology in Puguang Gas Field and the prospect[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(6):38-42.
- [13] 桂暖银,刘宝林,王小刚.交流变频调速钻机的节能潜力[J].探矿工程,2000(1):13-15.
GUI Nuanyin, LIU Baolin, WANG Xiaogang. Potential economizing energy on AC frequency conversion drill[J]. Exploration Engineering, 2000(1):13-15.
- [14] 任启伟,刘凡柏,高鹏举,等.3500m 岩心钻探装备在油气井勘查中的示范应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):57-61.
REN Qiwei, LIU Fanbai, GAO Pengju, et al. Demonstration application of 3500m core drilling rig in oil and gas well exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):57-61.
- [15] 卢予北,李艺,卢玮,等.新时代地热资源勘查开发问题研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):1-8.
LU Yubei, LI Yi, LU Wei, et al. Research on the exploration and development of geothermal resources in the new era [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):1-8.