

文章编号 : 1008-2336 (2019) 04-0019-05

海上直线潜油电泵的开发及在渤海油田的应用

纪树立, 甄东芳, 李志鹏, 高 强

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘 要 : 随着中海油部分油田的开采进入中后期, 一部分低液量井由于没有合适的人工举升方式而面临开采难题。为解决该类井开采问题, 针对海上油田低产井井斜大、出砂、功率大等特点设计开发了带有平衡缓冲器、刮砂装置、带轨道弹簧复位双固定凡尔的适合海上油田的直线潜油电泵。所开发的直线潜油电泵包括直线电机、往复泵、电缆及直线电机专用变频器, 承载能力达到 60 kN。通过在渤海油田应用表明, 所开发的海上直线潜油电泵适合海上油田低产井的开采, 成功解决了低产液井的开采问题。

关键词 : 直线电机 ; 直线潜油电泵 ; 往复泵 ; 开发 ; 应用

中图分类号 : TE355.5 文献标识码 : A DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2019.04.019

Development of Offshore Submersible Electric Pump and Application in Bohai Oilfield

Ji Shuli, Zhen Dongfang, Li Zhipeng, Gao Qiang

(CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: With the development of some oilfields in CNOOC in the middle and late stage, some low-liquid wells are facing difficulties in production due to the lack of suitable lifting methods. In order to solve the exploitation problems of this kind of wells, a linear submersible electric pump with balance buffer, sand scraping device and track spring reset double fixed globe valve is designed and developed for offshore oilfields, aiming at the low production wells which are of high deviation, sand production and high power. The developed linear motor reciprocating pump consists of linear motor, reciprocating pump, cable and special frequency converter cabinet for linear motor, and its lift force capacity reaches 60 kN. The application in Bohai oilfield shows that the developed offshore linear submersible electric pump is suitable for the exploitation of low production wells in offshore oilfields and successfully solves the exploitation problem of low production liquid wells.

Keywords: linear motor; linear submersible electric pump; reciprocating pump; development; application

中海油海上油田低产液井(日产液 50 m³ 以下)主要分布在辽东、渤西、QHD32-6 及渤南,产量低。部分油井日产只有几方,油层薄差、低渗透,含气量高,油稠,供液不足,不能连续开采而关井。目前主要采用电潜泵,电泵普遍流速低,电泵电机由于没有足够的液量给机组散热,机组容易发生过热损坏,造成检泵周期过短。另外,因

产量超出最佳生产范围造成电泵效率低、叶轮磨损。因此,海上油田这类低产液井还没有合适的人工举升方式^[1]。

直线潜油电泵技术,是一种使用潜油式直线电机直接驱动潜油式往复泵进行采油的新一代无杆采油设备,适合小排量开采,适合低产井、大斜度井的采油,适合薄差油层、低渗透油层的开

收稿日期 : 2018-11-19 ; 改回日期 : 2019-01-11

基金项目 : 国家科技重大专项“海上稠油油田高效开发钻采技术”(2016ZX05025-002)。中海油能源发展股份有限公司基金资助项目“稠油出砂低产井螺杆泵及往复泵采油技术研究”(HFJG-GJ2017006)。

第一作者简介 : 纪树立,男,1981年生,学士,高级工程师,2005年毕业于长江大学机械设计制造及其自动化专业,主要从事人工举升技术与开发工作。E-mail : jishl@cnooc.com.cn。

采^[2]。直线电机往复泵从研制成功第一台样机开始至今已经十几年，在油田已经使用上千套，期间出现了大量问题，包括电机、控制柜以及泵方面，都进行了大量改进。通过十几年不断地技术改进和升级，目前该技术已经逐渐成熟，在大庆、胜利、新疆等陆地油田已经开始批量推广使用^[3-5]。但是该技术之前都是用在陆地油田，若用在海上油田，必须针对海上油田的特点进行针对性的改进，尤其是井下部分要适应大斜度井、大排量、大功率等特点，地面控制柜要适应海上油田的使用环境和特点。

因此，结合海上油田尤其是渤海油田的特点，设计开发了适合海上油田使用的143系列直线潜油泵。所开发的海上直线潜油泵根据渤海油田常用9-5/8"套管设计，外径143 mm，直线电机推力达到60 kN，直线电机带有平衡缓冲装置，采用封铅绝缘处理工艺，自带10 m的引出线。往复泵采用双凡尔并加装复位弹簧。直线电机配套的变频柜采用海上统一的标准Modbus通讯接口，具有防腐、软停软起功能。2016年1月，两套机组首次在渤海使用，截至目前已经成功在海上油田下井应用12套，最长运转时间达到1 010天，取得了比较好的效果，较好地解决了海上油田低产液井的开采难题。

1 海上直线潜油泵设计及关键技术分析

1.1 直线潜油泵系统设计及基础参数确定

海上油田套管基本都是9-5/8"套管，因此，主要参考该套管尺寸，确定开发143 mm的潜油泵。海上直线潜油泵系统组成见图1，主要由永磁直线潜油电机、潜油电缆、直线电机专用变频控制系统和往复柱塞泵四部分组成。直线电机与往复柱塞泵直接通过螺纹连接，往复泵上端出口连接油管，并由油管下到设计的泵挂位置。潜油电缆沿着油管外壁通过电缆护罩与油管固定在一起，一端与直线电机引接线连接，另一端与地面的直线电机专用变频柜连接。

由于海上油田日产 50 m^3 以下就属于低产液井，直线潜油泵至少要满足日产 50 m^3 的产量需

求。因此，海上直线潜油泵排量设计为 $50\text{ m}^3/\text{d}$ ，结合渤海常用泵挂，扬程设计为1 500 m。经过计算，电机推力要达到60 kN，电机需设计成80 kW的大功率直线电机。

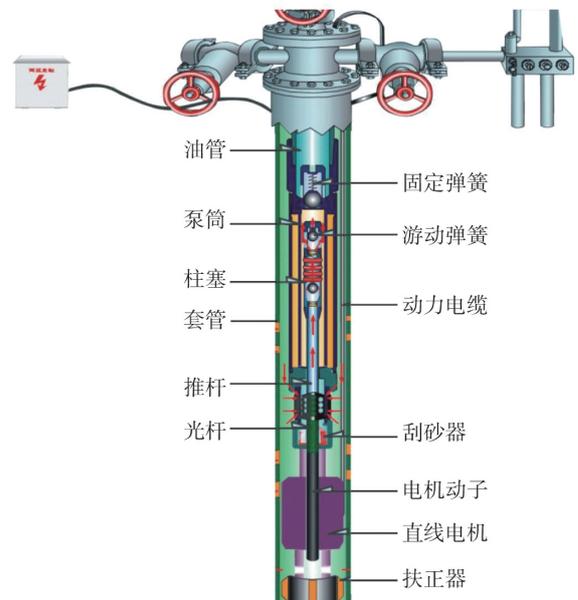


图1 直线潜油泵系统结构图

1.2 143系列直线电机设计

143系列直线电机外径为143 mm，重新进行电磁计算，增加电磁线线径及电机外径，从而增加推力，满足海上油田大功率要求。该直线电机定子设计成整体密封结构，外壳与内筒及端板把定子绕组铁芯整体封装，与井液隔离并确保定子绝缘性能。电机定子由内筒和外壳组成的密封腔内热态预注满绝缘油，确保电机在井下热胀冷缩能够平衡压力及绝缘性能。定子永磁体设计成环状、外表面采用不锈钢材料进行满焊封装，与外界井液进行隔离，防止永磁材料被井液腐蚀或者损坏。直线电机的定子及定子的密封结构设计能够确保定子和定子之间的环空可以直接接触井液，并且能够满足直线电机的热胀冷缩呼吸功能。因此，直线电机不需要配套设计直线电机专用的保护器，减少了该直线电机往复泵系统的部件，直线电机和往复泵可以直接对接，结构更加简单可靠。

目前永磁材料主要有两种：一种是钕钴磁体，一种是钕铁硼。钕钴磁体耐高温（ $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上

高温不退磁), 但是材料比较脆, 容易破裂, 推力相对钕铁硼较低; 钕铁硼耐温相对低(耐温最高 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$), 但推力相对强一些, 材料力学性能比较好。海上油田部分低产液井井温达到 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, 因此, 海上直线电机采用钕钴材料。磁堆和中心杆由于也直接接触井液, 因此都采用不锈钢材料。

针对海上直线电机功率大, 潜油直线电机运行中井液对动子的阻力和冲击比较大, 直线电机下端设计有平衡缓冲器, 用于减少潜油直线电机运行中井液对动子的阻力及缓冲动子下行到下止点对电机造成的伤害。该平衡器主要由平衡筛管、平衡缸筒、平衡活塞、平衡弹簧等部件组成(图2)。通过平衡弹簧与平衡活塞的相互作用以及流量缓冲孔的平缓释放, 从而达到平衡缓冲的目的, 提

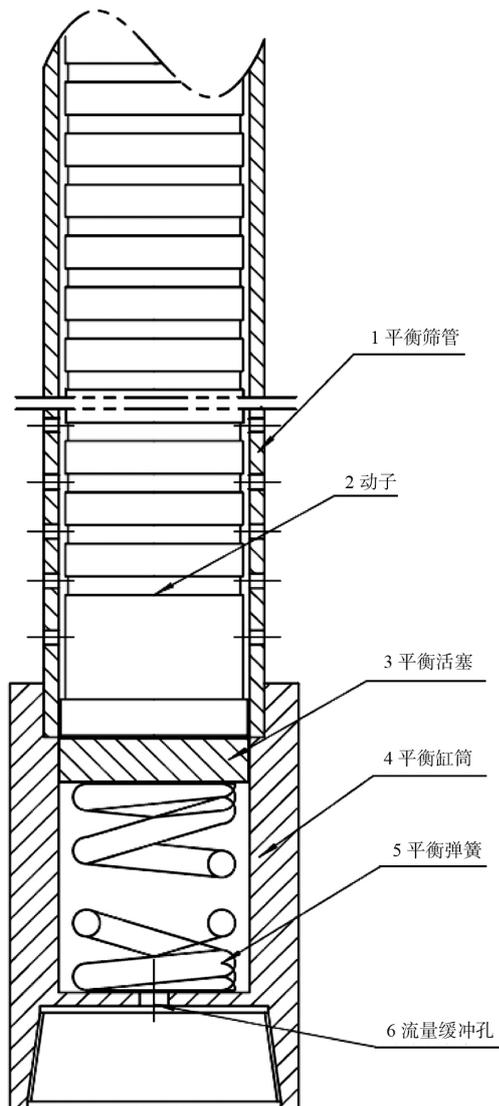


图2 直线电机平衡缓冲器

高设备的使用寿命。

所开发的直线电机推力达到 60 kN , 出厂前整体要进行打压密封试验, 在 30 MPa 压力的水介质中打压 24 h , 无变形、无渗漏。直线电机绕组在环境温度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热态下进行交流耐压试验。绝缘等级H级, 可保证直线电机在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下温度的介质中稳定运行。动子短节进行热装, 并增加负重直线度检测工艺。确保井下高温条件下运行动子短节不松动, 并且保证直线度。直线电机引线绝缘处理采用聚四氟乙烯灌注加灌铅。引出线由 1.5 m 加长到 10 m , 减少一次小扁电缆连接, 减小故障风险点, 提高可靠性。

1.3 大斜度井往复泵的设计

直线潜油电泵的往复泵把固定凡尔由泵腔的下端设计到泵腔的上端, 并采用双固定凡尔的结构, 往复泵结构见图3。直线电机在往复泵下端, 直线电机动子通过推杆与柱塞螺纹连接。针对海上油田油井出砂的特点, 往复泵柱塞端部设计有合金钢刮砂装置, 有效地将贴附在泵筒内壁上的砂粒、垢块刮除随着井液排出, 避免砂粒进入泵筒内壁损坏泵筒, 具有防砂、防卡的特点。电机上端设有三层多刀刃刮砂装置与刮砂光杆紧密配合将砂粒刮下并排除电机以外, 避免砂粒进入电机内部。

渤海油田都是大斜度井, 井斜都在 60° 以上。往复泵上的凡尔用在陆地上的直井, 能够在重力作用下复位, 但是斜井无法保证能够靠自身重力复位。针对渤海油田井斜较大, 往复泵在凡尔罩内设计有限位滑道和复位弹簧, 限制凡尔只能沿直线运动、强制复位。在井斜比较大的井中, 往复泵上的凡尔能够在弹簧的作用下有效复位。

往复泵上所用的阀球、阀座材料全是合金材料, 其耐磨及耐腐蚀性能是常规金属阀球、阀座的 $6\sim 8$ 倍; 所有接触井液的关键零件全部采用不锈钢材料。泵筒表面及柱塞表面全部使用耐磨、防腐材料。往复泵上行时靠油液推力打开固定凡尔球, 上行冲程结束后柱塞下行, 在反力弹簧的作用下, 凡尔球沿导向阀限位滑道迅速坐封, 泵腔开始充液, 循环往复, 实现抽汲。往复泵能够适应间歇式工作, 防砂, 防气锁, 适用于直井、定向井和水平井, 尤其适合海上油田使用。

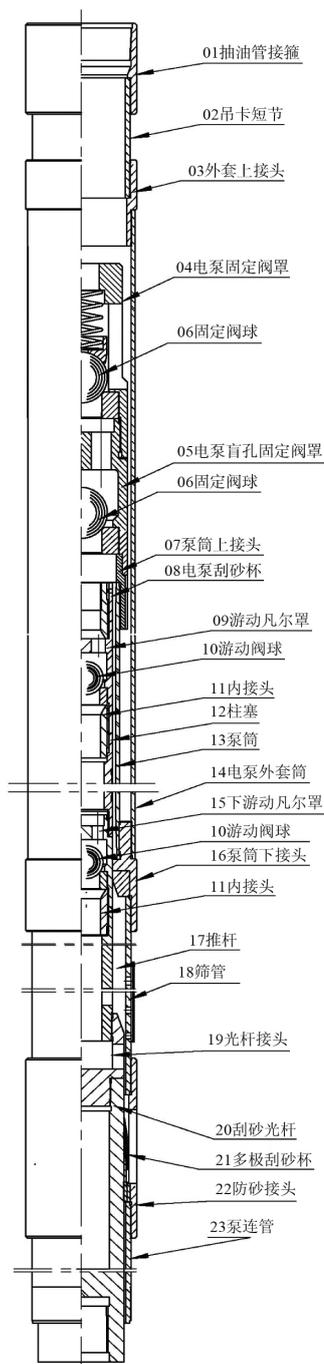


图3 直线潜油电泵往复泵结构图

1.4 直线电机专用变频器设计

1.4.1 防腐设计

海上存在潮湿,存在盐碱和腐蚀。因此,此次方案中电路板采用防腐涂层处理,元器件全部选择耐腐蚀材料,以适应海上环境。

1.4.2 地面设备通讯及数据接口设计

直线电机变频器用于海上,需要实现与中控对接。针对海上油田需要将控制柜连接到中控的

要求,直线电机变频器设计成标准的 Modbus 通讯接口,作为 Modbus 从站,可以将变频器运行状态和运行数据传输至平台中控。采用标准数据接口和通讯协议,MODBUS-RTU /TCP/IP 等,可实现远程传输及远程控制。

1.4.3 结构设计

变频器结构根据海上平台条件进行重新设计,整体采用模块化设计。针对海上平台空间受限问题,尺寸由 $760\text{ mm} \times 580\text{ mm} \times 1\,430\text{ mm}$ ($W \times D \times H$) 设计为 $550\text{ mm} \times 650\text{ mm} \times 2\,000\text{ mm}$ ($W \times D \times H$),内部结构重新布局设计,柜体后门板改为可拆卸式,便于后期设备维护。由于海上平台对安全防护方面的要求比陆地要高,设计上系统提升了安全防护等级。

2 海上直线潜油电泵现场应用

2016年试制了143系列排量 $30\text{ m}^3/\text{d}$ 、扬程 $2\,500\text{ m}$ 及排量 $20\text{ m}^3/\text{d}$ 、扬程 $1\,300\text{ m}$ 两种规格的样机,在渤西作业公司选择 NB35-2B1 及 QK18-15D 两口典型的长停井进行了首次试用。两口井都是低液量井,NB35-2B1 井为浅层稠油,泵挂浅;QK18-15D2 井为深层稀油,泵挂深,高含气。

NB35-2B1 井2016年1月20日下入直线电机往复泵并投产,2017年11月26日故障停泵,累计运行676天。在使用直线潜油电泵之前,该井先后下过潜油电泵、电潜及杆驱螺杆泵,平均检泵周期99天。平均提高了检泵周期500多天。

QK18-15D井2016年1月4日投产,已经运行1010天。该井之前下入潜油电泵共5次,平均检泵周期181天。平均提高了检泵周期800多天。

因此,下入直线潜油电泵后检泵周期明显提高。首次试验的两口井都取得了成功,之后又选择 QK18-1-P09 和 BZ26-2-A10H 两口井扩大试用范围。截至目前,所开发的海上直线潜油电泵累计在海上油田成功应用12套,低产低效井检泵周期明显提高,最高的已经运行了1010天,远远高于以前的检泵周期。直线潜油电泵在海上油田的应用取得了较明显的效果,救活了一批长停井,增产效果显著。在渤海油田低产低效井中推广使

(下转第31页)

