

# 电动潜油螺杆泵举升工艺技术优化 研究与应用

陈 锐 韩岐清 郑小雄 韩 涛

中国石油大港油田公司采油工艺研究院,天津 300280

**摘 要:** 电动潜油螺杆泵在稠油油井举升过程中不易出现杆管偏磨问题,提高了油井生产时效。为进一步提高现有配套工艺的技术适应性和运行效率,给出了一种通过优选关键技术设备和分析螺杆泵特性曲线,优化设计转子负载扭矩、系统效率等工艺运行参数的方法,并形成了能够适应原油黏度大于 10 000 mPa·s 的特稠油井生产需要的电动潜油螺杆泵举升工艺配套技术。大港油田的现场应用结果表明,该技术能够为特稠油井实现高效举升提供较好的技术支撑,为同类油井举升工艺的优化配套提供技术借鉴。

**关键词:** 电动潜油;螺杆泵;举升工艺;优化设计

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.04.012

## Research on Technology and Application of Electric Submersible Screw Pump Lifting

Chen Rui, Han Qiqing, Zheng Xiaoxiong, HanTao

PetroChina Oil Production Technology Institute of Dagang Oilfield, Tianjin, 300280, China

**Abstract:** The electric submersible screw pump is not easily exposed to rod pipe eccentric wear when used in lifting heavy oil well, which contributes to the increased production efficiency. To further improve the scope of application and operating efficiency of existing process technologies, this paper provides a method to optimize the design of process operating parameters such as rotor load torque and system efficiency by optimizing key technical equipment and analyzing the characteristic curve of screw pump. And the formation of the electric submersible screw pump matching technology that can adapt to the production of the oil well with a viscosity greater than 10 000 mPa·s has been studied. The Dagang oilfield application results show that this technique can provide better technical support for the high efficiency lifting process in the heavy oil wells and provide reference for the optimization of similar oil wells.

**Keywords:** Electric submersible; Screw pump; Lifting process; Optimize design

收稿日期:2018-04-16

基金项目:中国石油大港油田项目“举升工艺及配套技术深化研究与应用”(20170317)

作者简介:陈 锐(1987-),男,湖北随州人,工程师,硕士,主要从事机械采油新工艺技术研究工作。

## 0 前言

受油稠、井眼轨迹复杂等因素交织影响,常规有杆泵举升工艺在稠油井生产过程中杆管偏磨等问题突出,油井难以实现长效生产。电动潜油螺杆泵举升工艺系统效率高,生产运行参数调节便捷,维护管理方便,已在各油田稠油油井中得到推广应用。韩胜华等人<sup>[1-9]</sup>研究形成的电动潜油螺杆泵举升工艺基本解决了稠油油井杆管偏磨等问题,但因其对适应的举升扬程及原油黏度还存在技术局限性,目前还无法满足泵挂较深的特稠油井生产需要。

基于前人研究形成的电动潜油螺杆泵举升工艺技术,通过优化配套潜油电机及螺杆泵等关键设备,同时以油井实际生产数据为依据,优化设计转子负载扭矩及系统效率等关键工艺参数,有效提高了电动潜油螺杆泵举升工艺的适应性,满足了特稠油井的生产需要。

## 1 工艺原理

电动潜油螺杆泵机组将电机、减速器、挠性轴、螺杆泵及电缆下入井内,螺杆泵与油管及地面管线连接。地面电源通过变压器、控制柜及接线盒连接后,经电缆将电能送至井下电机,电机旋转经过挠性轴驱动螺杆泵,达到井液举升目的<sup>[10-13]</sup>,工艺配套见图 1。

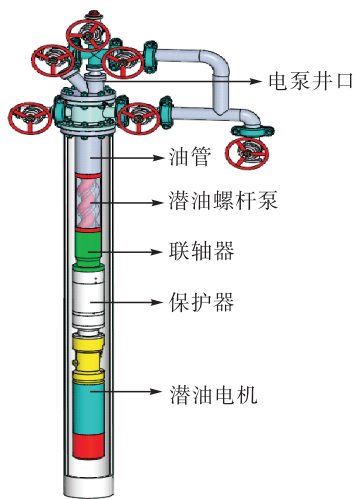


图 1 电动潜油螺杆泵举升工艺配套

## 2 技术研究思路

为最大程度提高工艺适应性,根据螺杆泵技术特性和适应能力,结合目标井油藏、流体及井况特征,优选电机和螺杆泵规格型号,同时在优选定子橡胶材料及规格参数的基础上,优化设计工艺参数,并结合现场应用效果分析评价工艺的技术可行性和经济有效性,形成适应不同井况的工艺配套技术系列,技术思路见图 2。

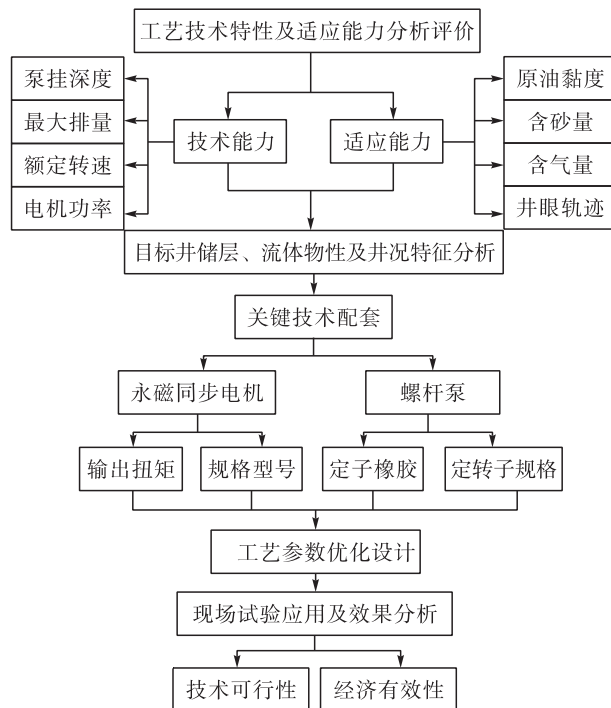


图 2 技术思路

### 2.1 关键配套技术

#### 2.1.1 低转速大扭矩永磁同步电机

传统电机额定功率高,油井在低液量生产过程中电动潜油螺杆泵机组温度高,易出现电机烧等问题,系统运行可靠性得不到有效保证,通过优化配套低转速(250 r/min)、大扭矩(912 N·m)永磁同步电机,不仅有效解决了机组温度高的问题,且大幅度提高了电机功率利用率,降低了运行能耗(电机功率 11 kW),同时不再配套减速装置,有效降低了运行故障率。

#### 2.1.2 高性能螺杆泵

为提高螺杆泵技术性能,结合目标井地层流体物性特征,优选定子橡胶材质及转子表面处理方式,以满足油井生产需要。同时结合产液量要求,优选螺杆泵规格型号,并优化设计定、转子外径及长度等规格参数,从而提高螺杆泵技术性能,优化后的主要性能指标见表 1。

表 1 螺杆泵主要性能指标

额定转速 / (r·min <sup>-1</sup> )	排量 / (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	扬程 / m	含气率 / (%)	H <sub>2</sub> S 含量 / (%)	含砂量 / (%)
250	2 ~ 200	≤2 600	30	3	5

### 2.2 技术适应条件

优化配套的电动潜油螺杆泵举升工艺技术在适应原油黏度、排量范围及最大扬程等方面具有更好的技术优势,具体技术适应条件见表 2。

表2 技术适应条件对比表

配套技术	原油黏度 / (mPa·s)	日产液 / (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	最大扬程 / m	原油温度 / ℃	含砂量 / (%)	H <sub>2</sub> S 含量 / (%)	井斜角 / (°)	全角变化率 / (°)·(30 m) <sup>-1</sup>
优化前	5 000	15 ~ 200	1 800	120	2	10	90	3
优化后	12 000	2 ~ 200	2 600	120	5	30	90	5

### 3 工艺参数优化设计

#### 3.1 工艺优化设计流程

依据油井储层物性、流体物性及管柱设计数据,对油井产液量及动液面进行分析预测,再结合确定的泵挂深度、螺杆泵及配套电机的规格型号及定转子规格参数,对比分析螺杆泵特性曲线<sup>[14-16]</sup>,根据动液面及产量合理调整螺杆泵转速,在保证油井产能的前提下最大限度地调整到系统效率最高点附近,工艺优化设计流程见图3。

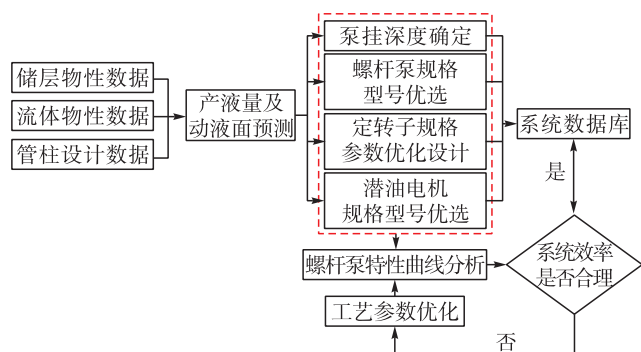


图3 工艺优化设计流程

#### 3.2 关键工艺参数

##### 3.2.1 转子负载扭矩

螺杆泵转子扭矩可用如下经验公式计算分析<sup>[17-20]</sup>：

$$T = \frac{8eDt}{2\pi} \Delta p \times 10^3 + K_m \delta^{0.63} n^{0.23} Z \quad (1)$$

式中： $D$ 为转子截圆直径，mm； $t$ 为转子导程，mm； $\Delta p$ 为工作压力，MPa； $e$ 为转子偏心距，mm； $K_m$ 为结构参数； $\delta$ 为定转子间初始过盈量，mm； $n$ 为转子转速，r/min； $Z$ 为泵的级数。

##### 3.2.2 系统效率

螺杆泵的系统效率为有功功率与转子输入功率之比，计算公式为：

$$\eta = \frac{8eDt}{2\pi T} \eta_v \Delta p \quad (2)$$

式中： $\eta_v$ 为泵容积效率，%； $T$ 为转子负载扭矩，N·m。

### 4 现场应用实例

优化配套形成的电动潜油螺杆泵举升工艺技术在大连油田稠油井进行了试验应用,平均日产液20.5 m<sup>3</sup>/d,日产油3.8 t/d,排量效率为89.6%,最大泵挂深度2 107 m,

最大原油黏度14 500 mPa·s。

以L7-9井为例,该井原油黏度为10 918 mPa·s,泵挂深度1 370 m,在应用电动潜油螺杆泵举升工艺前,采用抽油机有杆泵电加热配套工艺生产,日产液13.1 m<sup>3</sup>/d,日产油2.8 t/d,纯抽泵效54%,平均日耗电1 257 kW·h,检泵周期为172 d。

为提高油井系统效率,通过优选螺杆泵及配套电机的规格型号,优化设计螺杆泵转速等工艺参数,模拟分析螺杆泵工作特性曲线,使泵效处于最佳范围,见图4。目前油井平均日产液15.8 m<sup>3</sup>/d,日产油4.86 t/d,泵效为79.2%,平均日耗电134 kW·h,节电率89.3%,已正常生产219 d且生产运行稳定。

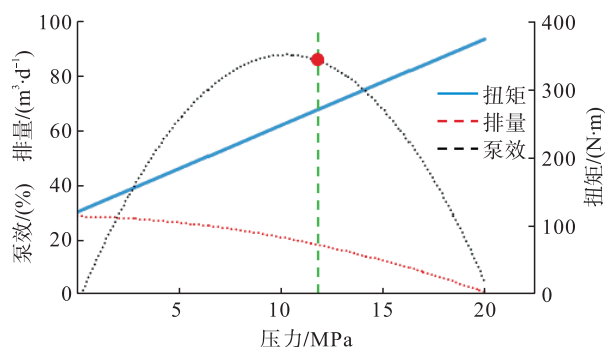


图4 螺杆泵工作特性曲线模拟分析

### 5 结论

1) 优化配套形成的电动潜油螺杆泵举升工艺技术适应性得到了明显提高,能适应原油黏度大于10 000 mPa·s特稠油井的生产需要。

2) 工艺生产参数设计不合理,将导致螺杆泵实际运行工况与最佳效率点存在偏差,降低油井排量效率。

参考文献：

- [1] 严亚忠,李颖,李俊华,等. 电动潜油螺杆泵用于稠油大斜度定向井的讨论[J]. 石油机械,2003,31(3):49-51.  
Yan Yazhong, Li Ying, Li Junhua, et al. Remarks on Use of Electric Submersible Screw Pump in Highly Deviated Directional Viscous Oil Wells [J]. China Petroleum Machinery, 2003, 31 (3): 49-51.
- [2] 宫伟. 潜油电动螺杆泵应用技术研究[D]. 成都:西南石油大学,2004.

- Gong Wei. Research on Technology and Application of Electric Submersible Progressive Cavity Pump [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2004.
- [3] 弭宝忠,张格云,赵吉乐,等. 电动潜油螺杆泵在疑难井中的应用[J]. 石油机械,2004,32(1):36-38.
- Mi Baozhong, Zhang Geyun, Zhao Jile, et al. Application of Electric Submersible Screw Pump in Problem Wells [J]. China Petroleum Machinery, 2004, 32 (1): 36-38.
- [4] 刘红兰,王 富,梁 华. 电动潜油螺杆泵在埕岛油田的应用研究[J]. 石油钻探技术,2004,32(5):48-50.
- Liu Honglan, Wang Fu, Liang Hua. Application and Investigation of the Electrical Submersible Progressive Cavity Pump in Chengdao Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32 (5): 48-50.
- [5] 魏秦文,张 茂,郭永梅. 潜油电机驱动采油技术的发展[J]. 石油矿场机械,2007,36(7):1-7.
- Wei Qinwen, Zhang Mao, Guo Yongmei. The Development of Electric Submersible Motor Actuation Oil Recovery Technology [J]. Oil Field Equipment, 2007, 36 (7): 1-7.
- [6] 韩胜华,刘利梅,秦守栋,等. 电动潜油螺杆泵技术及应用[J]. 油气田地面工程,2009,28(4):41.
- Han Shenghua, Liu Limei, Qin Shoudong, et al. Technology and Application of Electric Submersible Screw Pump [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2009, 28 (4): 41.
- [7] 王顺华,赵洪涛,尚庆军,等. 直线潜油电泵举升工艺技术及应[J]. 石油钻探技术,2010,38(3):95-97.
- Wang Shunhua, Zhao Hongtao, Shang Qingjun, et al. Technology of Linear Submersible Motor and Its Application [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38 (3): 95-97.
- [8] Zhao Zhaorui, Tian Yafen, Hou Feng, et al. Performance Analysis of a Refrigerant Extracting Twin Screw Compressor Employed in Multi-Temperature Heat Pump Systems [J]. International Journal of Refrigeration, 2016, 67: 383-394.
- [9] Waters S, Aggidis G A. Over 2000 Years in Review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 51: 497-505.
- [10] 杨献平. 电动潜油螺杆泵采油系统特点及应用[J]. 石油矿场机械,2004,33(3):82-84.
- Yang Xianping. Technical Feature and Application of Electric Submersible Progressing Cavity Pump [J]. Oil Field Equipment, 2004, 33 (3): 82-84.
- [11] 王世杰,吕彬彬,李 勤. 潜油螺杆泵采油系统设计与应用技术分析[J]. 沈阳工业大学学报,2005,27(2):73.
- Wang Shijie, Lü Binbin, Li Qin. Analysis of Design and Application Technology for Progressing Cavity Pump System [J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2005, 27 (2): 73.
- [12] 梁铁坤. 电动潜油螺杆泵采油系统控制技术的研[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2005.
- Liang Tiekun. Research on Control Techniques for Oil Extraction System with Electric Submersible Progress Cavity Pump [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2005.
- [13] 官 伟. 电动潜油螺杆泵采油系统应用研究[J]. 胜利油田职工大学学报,2005,19(5):53-54.
- Gong Wei. Research on the Application of Oil Production System Using Electric Submersible Progressive Cavity Pump [J]. Journal of Shengli Oilfield Staff University, 2005, 19 (5): 53-54.
- [14] 孔倩倩. 电动潜油螺杆泵工况诊断方法研究[D]. 青岛:中国石油大学,2009.
- Kong Qianqian. Research on Working Condition Diagnosis Method for Electrical Submersible Progressing Cavity Pump [D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2009.
- [15] 李隆浩. 电动潜油螺杆泵诊断方案的研究[D]. 青岛:中国石油大学,2011.
- Li Longhao. The Research of Diagnosis Scheme for the Electrical Submersible Progressing Cavity Pump [D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2011.
- [16] 宫俊峰. 地面驱动螺杆泵井优化设计及工况诊断系统[J]. 石油机械,2005,33(7):21-22.
- Gong Junfeng. Optimization and Working Condition Diagnosis System for Surface Drive Screw Pump Wells [J]. China Petroleum Machinery, 2005, 33 (7): 21-22.
- [17] 魏纪德,吴文祥,曾 艳,等. 螺杆泵工作特性曲线的数值模拟及应用[J]. 石油钻采工艺,2006,28(4):46-49.
- Wei Jide, Wu Wenxiang, Zeng Yan, et al. Numerical Simulation and Application of Working Characteristic Curve of Screw Pump [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2006, 28 (4): 46-49.
- [18] 侯 宇. 螺杆泵定转子合理过盈量确定方法研究[D]. 大庆:东北石油大学,2011.
- Hou Yu. A Study on the Rational Interference Fit Between Rotor and Stator of Progressing Cavity Pump [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011.
- [19] 杨 敏,汪 涛,沈 奇,等. 螺杆泵采油抽油杆柱动力学研究[J]. 油气田地面工程,2011,30(2):10-11.
- Yang Min, Wang Tao, Shen Qi, et al. Dynamics Study on Sucker Rod by Screw Pump Production [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2011, 30 (2): 10-11.
- [20] 陈涛平,王春艳,孙兆海,等. 地面驱动螺杆泵抽油杆柱负载扭矩的计算[J]. 大庆石油学院学报,2004,28(6):26-28.
- Chen Taoping, Wang Chunyan, Sun Zhaohai, et al. Calculation of Loading Torque on Sucker Rod in Surface Driving Screw Pump System [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2004, 28 (6): 26-28.