

电潜螺杆泵间隙值的优化设计研究与应用

李 云¹, 佟慧宁², 赵静雯¹, 杨梦石¹, 苑习之³, 谢 巍¹, 李 芳¹, 王丽娜⁴, 孟艳敏⁵

¹中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司工程技术研究院, 河北 任丘

²中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司科技信息部, 河北 任丘

³中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司巴彦勘探开发分公司, 内蒙古 巴彦

⁴中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司工程技术部, 河北 任丘

⁵中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司第一采油厂, 河北 任丘

Email: cyy_xiew@petrochina.com.cn

收稿日期: 2021年5月20日; 录用日期: 2021年6月21日; 发布日期: 2021年6月28日

摘 要

电潜螺杆泵经常在高速旋转的状态下工作, 存在泵转速高、温度高、橡胶变形量大等特点, 若遇到突然停机情况, 其在高温状态下橡胶无法收缩, 可能导致泵抱死、电极烧等严重事故。在起泵初期、泵停机再启动时由于上述原因也经常出现起泵困难等情况, 使泵无法正常工作。因此, 本文针对电潜螺杆泵的泵间隙值进行研究, 对过盈量和初始过盈量进行计算试验, 改进优化电潜螺杆泵的间隙值, 有效提高了电潜螺杆泵的工作效率和使用寿命, 达到了油田生产提质增效的目的, 对无杆泵市场开发有着十分重要的现场实践指导意义。

关键词

电潜螺杆泵, 间隙值, 优化设计, 效率

Research and Application of Optimal Design of Clearance Value of Electric Submersible Screw Pump

Yun Li¹, Huining Tong², Jingwen Zhao¹, Mengshi Yang¹, Xizhi Yuan³, Wei Xie¹, Fang Li¹, Lina Wang⁴, Yanmin Meng⁵

¹Engineering Technology Research Institute of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei

²Department of Science and Technology Information of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei

³Bayan Exploration Branch Company of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Bayan Inner Mongolia

⁴Department of Engineering Technology of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei

⁵The First Exploitation Factory of Huabei Oilfield Company of PetroChina Company Limited, Renqiu Hebei
Email: cyy_xiew@petrochina.com.cn

Received: May 20th, 2021; accepted: Jun. 21st, 2021; published: Jun. 28th, 2021

Abstract

Electric submersible screw pumps often work under high-speed rotation. They have the characteristics of high pump speed, high temperature, and large rubber deformation. If they encounter a sudden shutdown, the rubber cannot shrink under high temperature conditions, which may cause the pump to serious accidents, such as pump locking, electrode burnt. In the initial stage of starting the pump, when the pump is stopped and then started again due to the above reasons, it is often difficult to start the pump, which makes the pump unable to work normally. Therefore, this paper studies the pump clearance value of the electric submersible screw pump, calculates the interference and the initial interference, improves and optimizes the clearance value of the electric submersible screw pump, and effectively improves the working efficiency and service life of the electric submersible screw pump, and reaches the goal of improving the quality and efficiency of oilfield production, and has very important field practical guiding significance for the development of the rodless pump market.

Keywords

Electric Submersible Screw Pump, Clearance Value, Optimal Design, Efficiency

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

随着科技的快速发展,我国的螺杆泵采油技术已经越来越成熟和完善,并能够在地貌环境复杂的地

区得到广泛的使用[1]。电潜螺杆泵是一种结合了电潜泵和普通螺杆泵两种机采设备特征的新型无杆泵,作为一种新型采油设备[2],与传统机械设备相比,结构简单、投资较少、能耗低、适用于高粘度高含砂等特殊井矿工作,对解决油井偏磨、适应新环境的采油方式以及油井节能降耗等方面发挥了显著作用[3][4]。在电潜螺杆泵实际应用过程中,井下泵定、转子之间配合的过盈值,对于井下泵的工作特性影响很大。螺杆泵过盈量作为重要设计参数,影响因素众多,国外威德福的阿尔弗雷德和豪尔赫提出预测螺杆钻具定转子过盈量的方法,斯伦贝谢的山姆巴和马克西姆等也提出了过盈量如何选取,国内侯宇提出调整转子直径和偏心合理过盈量的确定方法。杨凤艳、张彤、王哲等分别研究螺杆泵注胶过程和螺杆泵定子橡胶的磨损行为及其机理为螺杆泵过盈量影响因素提供了依据。高宇提出通过调整转子的节圆直径及偏心值来调整螺杆泵定转子过盈量的方法[5][6][7]。以上研究都未形成系统优化设计方法,本文通过电潜螺杆泵的过盈量的分析,实现泵间隙值的优化设计,并结合现场实际进行应用。现场实践表明,螺杆泵过盈配合过紧,虽然能够实现充分举升,但会产生扭矩增加,磨损加快,泵效降低的后果;配合过松,又不能实现有效举升,电潜螺杆泵的间隙和橡胶变形量是影响电潜螺杆泵使用寿命的关键问题。地面驱动螺杆泵,泵的间隙过盈值为 0.10~0.20 mm,启动时可以依靠地面电机的大扭矩强行启动,但电潜螺杆泵的泵间隙,都是采用常规地面驱动螺杆泵的间隙过盈值,电机扭矩小,经常无法启动。根据现场分析,过盈值偏大是造成电潜螺杆泵故障的主要原因,它不仅增大转子与定子之间的摩擦力,而且摩擦产生的热量会加速定子橡胶的老化,降低定子的使用寿命,严重时会发生转子抱死和定子脱胶等问题。因此,根据现场生产情况对电潜螺杆泵的泵间隙值进行优化设计,找到转子与定子合适的过盈值就显得非常重要。

2. 泵间隙值确定方法

基于电潜螺杆泵中转子的单级承受压力与电潜螺杆泵中定子橡胶的正压力和单级承受压力有关的系数、定子橡胶的弹性系数和对单级承压能力的影响系数积值,获得电潜螺旋杆泵的工作过盈量。由工作过盈量与定子橡胶通过热膨胀产生的过盈值、定子橡胶通过油膨胀产生的过盈值、定子橡胶在高压条件下产生的收缩量和在定子橡胶与转子运转过程中产生的磨蚀量,获得所述电潜螺杆泵的初始过盈量。最终基于电潜螺杆泵的工作过盈量和初始过盈量获得泵间隙值。

2.1. 工作过盈量的确定

工作过盈量即电潜螺杆泵在工作时的过盈量,工作过盈量用于保证泵在工作时的压差和满足油井举升的需要。而工作过盈量的大小与橡胶的平均厚度和弹性模量有关。在工作中,定子橡胶的正压力越大,压缩后所产生的形变值越大,进而工作过盈量越大[8]。

根据胡克定律确定电潜螺杆泵中定子橡胶的正压力,之后,通过转子的单级承受压力获得工作过盈量 δ 。

$$\delta = H / (a \cdot k \cdot c) \quad (1)$$

其中, δ 为工作过盈量;

a 为与定子橡胶的正压力和单级承受压力有关的系数;

k 为弹性系数;

c 为对单级承压能力的影响系数积值;

H 为转子的单级承受压力。

2.2. 初始过盈量的确定

在获得工作过盈量之后,通过工作过盈量获得初始过盈量。在设计中关键参数就是初始过盈量。初

始过盈量就是电潜螺杆泵在加工完毕后下井之前，在室温空气中所测得的过盈量，即电潜螺杆泵的过盈间隙值 δ_1 [9]。

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 - \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 \quad (2)$$

其中， δ_1 为初始过盈量，单位为 mm；

δ_2 为定子橡胶通过热膨胀产生的过盈值，单位为 mm；

δ_3 为定子橡胶通过油溶胀产生的过盈值，单位为 mm；

δ_4 为定子橡胶在高压条件下产生的收缩量，单位为 mm；

δ_5 为定子橡胶与转子在运转过程中的磨蚀量，单位为 mm；

δ 为工作过盈量。

2.3. 泵间隙值的确定

在获得工作过盈量和初始过盈量之后，工作过盈量和初始过盈量形成的区间值作为泵间隙值 δ_3 ，见图 1 [10] [11] [12]。

$$\delta_3 = \frac{(8E + 2\pi r) \pm \sqrt{(8E + 2\pi r)^2 - 4\pi(\pi R^2 - 8Er - \pi r^2)w}}{2\pi} \quad (3)$$

其中， δ_3 为定子橡胶通过油溶胀产生的过盈值；

w 为定子橡胶通过油溶胀的溶胀率；

E 为定子的偏心距；

r 为转子的半径；

R 为定子的外壳内径。

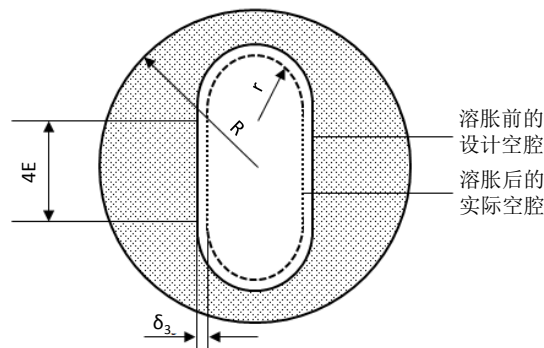


Figure 1. Schematic diagram of stator rubber before and after swelling

图 1. 定子橡胶溶胀前后示意图

由此可知，定子橡胶通过油溶胀产生的过盈值为基于定子橡胶膨胀面积、定子橡胶溶胀率、定子的偏心距、定子的外壳内径和转子的半径获得的值。

3. 系统效率综合评价应用实例

X 油田平均泵深 1000 m 左右，动液面范围 500~800 m，油管液柱压力约 6.5 MPa，井口回压不高于 0.5 MPa，管内延程阻力 1.0 MPa，所以电潜螺杆泵在举升压头 8.0 MPa 的条件下，容积效率达到 60%即可满足油田不同区块不同油井的举升要求。

根据电潜螺杆泵的排量设计了定子与转子之间的过盈量配合尺寸, 分别对不同的泵间隙值的电潜螺杆泵分别进行室内性能检测, 并对整套机组在试验井进行模拟试验, 对不同螺杆泵的定子与转子之间的过盈量(即泵间隙值)做进一步的优选和修正。通过观察不同定子与转子之间的过盈量相配合的条件下, 电潜螺杆泵的水力工作特性, 以评价并优选合理的过盈量。试验方案逐项进行, 各项指标达到设计要求, 定子和转子过盈量配合参数见表 1。

Table 1. Interference coordination parameter table of stator and rotor
表 1. 定子和转子过盈量配合参数表

泵型	1 级过盈(改进前)	2 级过盈(改进后)	3 级过盈(改进后)
GLB75-40	0.20 mm	0.04 mm	0.00 mm

通过室内试验井的整套机组试验, 运转 6 小时以上压力升高、排量增加, 说明在机组运转后井筒温度上升, 定子橡胶膨胀, 定子和转子之间的间隙减小。

试验结果表明, 同等转速下改进后的泵出口压力为 8.0 MPa 时, 容积效率达到 60%以上, 因此可以满足油田不同区块不同油井的举升要求。试验数据显示, 在泵举升压力为 8.0 MPa 的条件下, GLB75-40 电潜螺杆泵的泵间隙值由原来的 0.20 mm 降至改进后的 0.04 mm 和 0.00 mm 时, 容积效率由 70.3%变化到 68.6%, 基本保持不变。由此可以说明电潜螺杆泵的举升能力基本没有改变, 电潜螺杆泵的工作扭矩由 158 N·m 变化到 141 N·m, 比常规过盈螺杆泵降低近 20 N·m, 说明电潜螺杆泵的无用功消耗减少, 电潜螺杆泵的总效率提高。改进前后工作参数变化见图 2~4 所示。

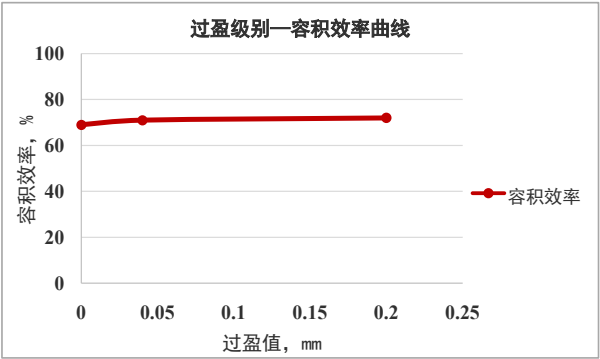


Figure 2. Changes in volumetric efficiency of different interference levels
图 2. 不同过盈级别容积效率变化

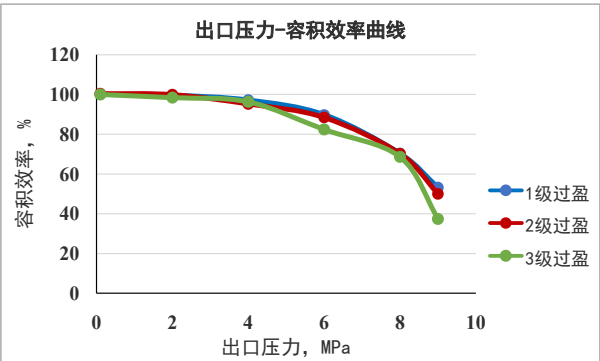


Figure 3. The volumetric efficiency of different interference levels varies with outlet pressure
图 3. 不同过盈级别容积效率随出口压力变化

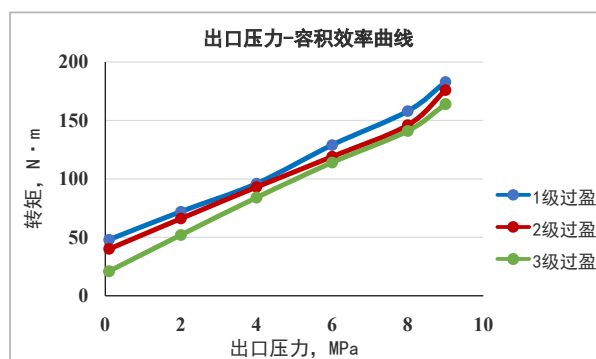


Figure 4. Torque changes with outlet pressure at different interference levels

图 4. 不同过盈级别扭矩随出口压力变化

试验表明,电潜螺杆泵的泵间隙值改进后,电潜螺杆泵的举升能力几乎不受影响,电潜螺杆泵的总效率有所提高,达到了优化过盈量的要求。因此,电潜螺杆泵泵间隙值确定在 0~0.04 mm 之间,此泵间隙值的电潜螺杆泵定子与转子之间配合间隙合理,在起泵初期、泵正常工作时、泵停机再启动时避免了泵抱死等现象,能够正常工作。

4. 结论

本文通过理论分析,对电潜螺杆泵的工作过盈量和初始过盈量确定值进行研究,提出了一种电潜螺杆泵泵间隙值的计算方法,利用调整电潜螺杆泵的泵间隙值优化设计,改进电潜螺杆泵工作性能,提高了电潜螺杆泵的工作效率和使用寿命,有效降低了生产能耗,对螺杆泵采油技术的发展起到了推动作用。

参考文献

- [1] 马雷. 螺杆泵采油工艺技术应用研究[J]. 中国新技术新产品, 2013, 2(上): 17.
- [2] 廖坤梦. 潜油螺杆泵采油技术发展状况及其系统特点[J]. 内蒙古石油化工, 2014(21): 100-101.
- [3] 李宇. 浅谈螺杆泵采油工艺技术应用[J]. 科技创新与应用, 2013(18): 1.
- [4] 吕彬彬, 王世杰, 李聪. 潜油螺杆泵采油系统转子扭矩求解方法研究[J]. 机械设计与制造, 2005(12): 50-51.
- [5] 高宇. 基于 ABAQUS 的螺杆泵定转子过盈量有限元分析及优化设计[J]. 化学工程与装配, 2015(7): 34-36.
- [6] 王欢. 螺杆泵过盈值匹配技术模板的建立与应用[J]. 石油工业技术监督, 2017, 33(10): 46-48.
- [7] 徐国民, 赵殿勇, 钱朝慧, 等. 螺杆泵合理过盈量研究[J]. 油气田地面工程, 2006, 25(11): 7-8.
- [8] 高宇. 单螺杆泵定转子过盈量优化设计[J]. 内蒙古石油化工, 2014(12): 79-81.
- [9] 吕晓仁, 何恩球, 罗旋, 等. 基于摩擦学系统理论的采油螺杆泵定子橡胶磨损分析[J]. 润滑与密封, 2013, 38(10): 87-90.
- [10] 王炯, 徐建宁, 屈文涛, 等. 潜油双螺杆泵间隙的优化设计[J]. 石油机械, 2008, 36(8): 32-35.
- [11] 邹艳. 影响螺杆泵过盈量设计的因素[J]. 综述专论, 2020(21): 144-146.
- [12] 黄莉榕, 蔡佐君, 高孝忠. 泵体过盈配合有限元分析[J]. 机电设备, 2012(S1): 23-25.