

提高螺杆泵定子橡胶材料寿命的分析与研究

陈玉祥¹, 王霞¹, 周松¹, 李春福¹, 曾明友¹, 何显儒¹, 丁锐²

(1. 西南石油学院, 四川 成都 610500; 2. 山东理工大学, 山东 淄博 255049)

摘要: 介绍了采油螺杆泵的结构和工作原理。针对提高采油螺杆泵工作寿命的问题,通过对螺杆泵工作原理和工作寿命影响因素的分析,框述了近年来国内外螺杆泵定子橡胶新材料的特点和螺杆泵结构的优化设计方法,研究并采用了活化的硅酸盐矿物与以丁腈橡胶为主要成分的复合材料,来制备出高性能的活化硅酸盐复合材料。该材料的各项性能均高于羧基丁腈橡胶及通用丁腈橡胶。

关键词: 螺杆泵; 定子橡胶; 使用寿命; 结构; 纳米材料

中图分类号: TE833.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6254(2005)04-0006-04

0 引言

采油螺杆泵作为一种广泛用于高产稠油井开采的采油机械已有 20 多年的历史。螺杆泵的结构简单,特别适合于高粘度、高含砂量的油井,并且有较高的工作效率。目前国内已经具备独立生产各型螺杆泵的条件,由于材料缺陷,其最大扬程、寿命均与同型号的国外产品存在差距。螺杆泵定子材料受多种因素的影响,引起橡胶的物理性质发生变化,使橡胶过早老化,缩短了螺杆泵的工作寿命,限制了螺杆泵的使用范围。螺杆泵定子橡胶材料的改进和螺杆泵结构的优化设计,是提高采油螺杆泵性能和工作寿命的重要途径。

1 螺杆泵的结构和工作原理

螺杆泵是一种螺旋杆齿轮泵,其基本构件是转子和定子,如图 1 所示。转子是一个有平滑螺旋纹槽的单头螺杆,其横截面为圆形,圆心与螺杆的回转中心存在偏心距。转子一般由结构钢制造,并镀铬。定子是一个有平滑螺旋纹槽的双头螺母,由钢制外壳和耐油、耐磨的橡胶内衬粘结而成,其内径与转子外径相等,导程和偏心距都是转子的 2 倍。这样,在定子的内螺旋面和转子表面间就形成一个一个的封闭腔室。当定子-转子副中靠近吸入端的第一个腔室的容积增加时,在

它和吸入端的压力差作用下,油流便进入第一个腔室。随着转子的转动,这个腔室开始封闭,并向排出端移动。就这样,油液通过一个一个封闭的腔室从吸入端推挤到排出端,压力不断升高,排量非常均匀。

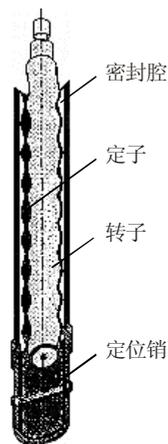


图1 螺杆泵结构示意图

2 影响螺杆泵工作寿命的因素

橡胶弹性内衬材料承受的负荷有转子对它的挤压、定子和转子之间的高速滑动摩擦、转子绕定子轴线行星回转时产生的离心力对定子内衬的冲击;摩擦和冲击机械能产生的热能,使内衬橡胶温度升高。由于橡胶为绝缘体,热量不能有效扩散,再加上井下温度的作用,热能最终影

基金项目:中国博士后科学基金资助项目“提高稠油开发冷采泵寿命的纳米改性材料研究”(2004036145);“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室开放基金资助项目“出砂冷采螺杆泵定子转子纳米材料的研究与应用”(PLN0406)

作者简介:陈玉祥(1966-),男,副教授,博士后,在西南石油学院/材料学院从事科研教学工作。

响合成橡胶的物理性质,使橡胶老化变脆,在转子的交变载荷和流体压力作用下逐渐失去弹性。橡胶内衬材料产生的裂纹逐渐增多,最终形成橡胶碎片,导致定子失效。

油井中的砂子极具磨蚀性,对泵、杆柱和油管均造成磨损。

原油中含有相当数量的芳香族、 H_2S 和 CO_2 气体。芳香族化合物使定子膨胀, H_2S 和 CO_2 气体会使定子橡胶脆化、硬化,以致破坏。

3 目前国外主要的橡胶定子材料

螺杆泵弹性定子材料要求具有良好的耐磨、耐冲击、耐热和耐腐蚀等性能,传统的定子材料为丁腈橡胶。因采油用螺杆泵的工作条件恶劣,例如高温、高压、工作时间长、腐蚀性介质、周期性挤压等,使传统的橡胶材料已临近其性能极限。为适应井下严酷的工作条件,迫切需要开发新的橡胶定子材料。另外,螺杆泵使用的工况不同,对定子橡胶的要求也不相同,同一种定子橡胶难以适应各种工况需求。应考虑针对不同工况条件采用不同类型的橡胶定子材料。

国内的定子橡胶材料主要是 NBR,配合一些添加剂,耐油性能差,浸油膨胀率达 15%^[1]。

目前国外研制了多种螺杆泵橡胶定子材料,主要有:羧基丁腈橡胶、丁腈橡胶与聚氯乙烯或羧基丁腈橡胶与聚氯乙烯的共混胶和氢化高饱和丁腈橡胶。

羧基丁腈橡胶是丁二烯、丙烯腈和有机酸单体的三元共聚物。羧基丁腈橡胶耐热油、耐磨、水溶胀小、压缩永久变形小、弹性高、抗撕裂强度高、易挤出、有利于注压成型、动态性能较好。对于常规浅井,井下温度多为 30~50℃,由于温度较低,橡胶受挤压后变形较小、硬度变化不大,对定子橡胶性能的要求主要为耐磨、抗疲劳和抗老化。定子橡胶可采用廉价的、常温下较软的传统丁腈橡胶和羧基丁腈橡胶^[2]。

丁腈橡胶与聚氯乙烯或羧基丁腈橡胶与聚氯乙烯的共混胶为橡塑混炼胶,与丁腈橡胶相比,有更好的挤出性能,更好的耐油、耐化学药品和耐溶剂性,更好的耐水性和耐磨性,而且尺寸稳定性较好,对定、转子配合更易控制。对于工况温度 80~120℃、压力 25~35 MPa 的深井,因井下温度较高,使橡胶变软、硬度降低,橡胶膨胀严重,定、转子配合更为紧密,摩擦扭矩、制动扭矩

增大,橡胶更易疲劳和老化。这时对定子橡胶性能的要求主要为耐高温和尺寸稳定性好,应使橡胶的温度膨胀率低,以免造成定、转子配合更紧后,因制动扭矩大大增加而扭断螺杆泵的转动部件。

氢化高饱和丁腈橡胶是国外 80 年代开发的新型饱和耐油橡胶。通过对丁腈橡胶链段上的丁二烯单元进行选择氢化,将不饱和双键加氢反应生成饱和碳-碳单键^[3]。氢化高饱和丁腈橡胶分子链中的氢化丁二烯单元,可使其具有良好的耐热和耐老化性能、耐腐蚀性能、耐低温性能,以及具有能在高温下仍保持与常温相当的物理机械性能的品质。目前主要品种有德国 Bayer 公司的 Therban 系列、加拿大 Polysar 公司的 Tornac 系列和日本 Zeon 公司的 Zetpol 系列^[4]。

据报道^[5],国内吉林化学工业公司研究院利用钨胶体催化剂开发了 HNBR-JH,达到日本 Zeon 公司的 Zetpol 2020 性能水平。

氢化高饱和丁腈橡胶能长期耐 150℃ 高温,具有良好的耐油性和耐磨性,能较好地适应二氧化碳、硫化氢和甲烷的环境(H_2S 和 CO_2 含量可达 2%),且能保持较好的机械性能,是一种有较好力学性能的新型橡胶。这种橡胶已成功用于 250℃ 的高温油井中,对于深井、超深井,工况环境十分恶劣,包括高低温、高压、高含量 H_2S 和 CO_2 等腐蚀性介质和各类强腐蚀添加剂等,定子橡胶应优先采用氢化高饱和丁腈橡胶。

氢化高饱和丁腈橡胶的生产工艺复杂,价格较通用橡胶昂贵,在很大程度上阻碍了其在国内工业领域的推广应用。

4 活化的硅酸盐矿物纳米复合橡胶材料的性能

针对采油用螺杆泵定子橡胶材料的使用环境复杂、使用工况恶劣而使材料寿命低的状况,正在开展硅酸盐矿物活化方法及对所形成的纳米复合橡胶性能影响的研究。初步研究结果表明,活化的硅酸盐矿物与以丁腈橡胶为主要成分的材料复合,制备出高性能的活化硅酸盐矿物纳米复合材料。

该纳米橡胶复合材料的性能比羧基丁腈橡胶的性能提高了许多(见表 1)。后续进行的研究试验将可望获得性能优异、成本低廉的采油用螺杆泵定子材料。

表 1 活化纳米橡胶性能比较表

项 目	橡胶		
	活化纳米橡胶	羧基丁腈橡胶	通用丁腈橡胶
抗拉强度/MPa	19.6	14.8	4.5
100%定伸强度/MPa	3.8	2.1	0.5
300%定伸强度/MPa	13.5	7.0	1.4
伸长率/%	402	410	650
撕裂强度/MPa	5.7	2.7	0.8
邵氏硬度	66	59	42
浸泡原油体积变化率/%	2.6	3.7	9.6

5 螺杆泵结构对定子橡胶材料的影响

进行螺杆泵结构参数的优化设计,使其具有良好的力学性能和工作性能,对延长定子橡胶使用寿命也起到积极作用^[6]。

5.1 等壁厚定子螺杆泵

常规定子是将橡胶模压到等内径环形外钢管上的,橡胶层的厚度是变化的(波峰处厚,波谷处薄),如图 2 所示。这种结构容易导致定子过早失效。螺杆泵工作时,转子与定子摩擦和冲击机械能转变成热能,产生的热量主要聚集在橡胶最厚的部分,使摩擦面的自动升温值比介质温度高几十度,使橡胶老化。热效应会使定子内腔变小,增大了摩擦损失,降低了机械效率^[7],从而使定子、转子间的过盈配合增大,使螺杆泵静止后的启动力矩非常大,可造成螺杆泵启动困难,导致螺杆泵损坏。

等壁厚定子螺杆泵的定子橡胶层厚度相等、较薄,橡胶层与定子管内部轮廓一致,如图 3 所示。与常规定子的厚橡胶相比,新型等壁厚定子螺杆泵的定子结构和定子管的钢轮廓能够抵抗液压力,即使在高压差下,空腔之间也能保持密封。因此,在大负荷情况下体积效率也很高,提高了螺杆泵的性能;橡胶用量大大减少,定子对由温度和钻井液中的化学物质引起的轮廓变形不再敏感;薄的橡胶层产生很少的迟滞热量,减少了热量损失,提高了机械效率;薄的橡胶层产生的热量少,而且热量扩散也快,螺杆泵在高温下操作更可靠。

加拿大 Weatherford 公司开发了一种等壁厚

定子螺杆泵,该泵的应用表明,其工作扭矩非常低,对电动机功率需求低。该型泵具有以下优点:散热效率高;单级泵压差增大,可以缩短泵的长度、减小扭矩和功率;橡胶溶胀、热胀均匀;适应范围更广;结构更加优化;转子不需抛光;泵体质量更轻^[8]。

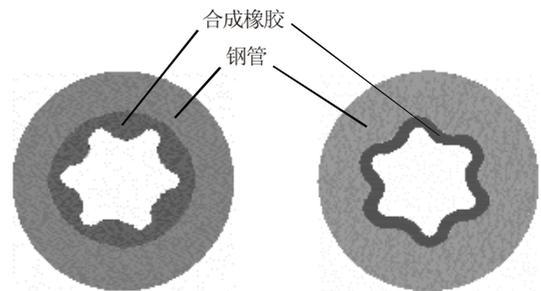


图2 常规定子结构

图3 等壁厚定子结构

5.2 多线数螺杆泵

对于大排量螺杆泵而言,通过增加螺杆泵线数能够有效降低泵的结构参数,多线螺杆泵的技术特点是:(1)泵排量大幅增加。(2)采用多线数的设计方法后,排量增大,但偏心距减小,而使螺杆泵定子橡胶的厚薄不均的程度有所改善,与单线螺杆泵相比参数配比更为合理^[9],如图 4 所示。经过计算可以得出,单线螺杆泵定子橡胶厚度最大差值为 20 mm 左右,而多线螺杆泵为 14.5 mm 左右,两者相差 5.5 mm。因而,多线螺杆泵能够明显降低定子橡胶厚度的不均匀性,从而较大程度地改善定子橡胶的散热能力。在螺杆泵工作过程中,能提高泵的机械性能,有利于延长泵的使用寿命。

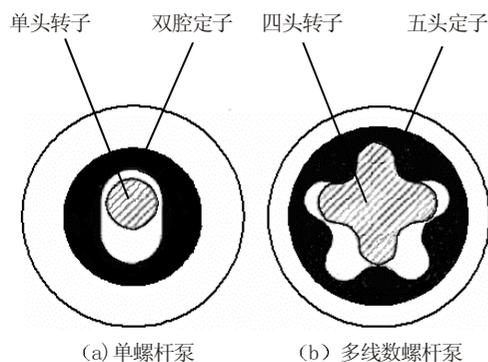


图4 螺杆泵截面图

5.3 合理的定、转子配合过盈量

不同橡胶材料,或同一种橡胶材料在不同的工作环境条件下,均应选择不同的配合过盈量。通过合理匹配螺杆泵定、转子过盈量,可降低摩擦扭矩。在保证螺杆泵容积效率和举升能力的前提下,适当减小螺杆泵定、转子间过盈值,不但能够降低定、转子间摩擦扭矩,提高泵的机械效率,而且可以通过降低定、转子间的接触载荷和接触应力,减轻定、转子磨损,有利于延长螺杆泵使用寿命。

6 结束语

从国内外技术成果和本研究的初步结果可

以看出,延长采油螺杆泵使用寿命的研发工作呈现出以下特点:(1)用新材料改善螺杆泵的性能,在不同的工作环境条件下采用不同的定子橡胶材料,这是提高井下采油螺杆泵寿命的根本途径。(2)泵结构的优化设计已经成为改善螺杆泵系统性能的有效手段。

参考文献:

- [1] 周毅. 单螺杆泵橡胶定子的研制[J]. 橡胶工业, 2003, 50(5): 312~313.
- [2] 朱国新,谢西奎. 螺杆钻具定子橡胶类型与钻具性能分析[J]. 石油矿场机械, 1998, 27(5): 22~24.
- [3] 郁文正,梁德山. 螺杆泵定子橡胶的新发展[J]. 国外石油机械, 1997, 8(4): 41~47.
- [4] 张防,郭强. 氢化丁腈橡胶及其应用研究进展[J]. 特种橡胶制品, 2001, 22(2): 54~57.
- [5] 李柏林,蔡洪光,张新惠,等. 氢化丁腈橡胶的性能[J]. 合成橡胶工业, 1998, 21(6): 335~355.
- [6] 于家波. 建立钻井作业新标准的高性能井下马达[J]. 国外油田工程, 2004, 20(10): 33~36.
- [7] 何艳,姜海峰,孙延安,等. 壁厚定子螺杆泵研究及应用前景探讨[J]. 石油机械, 2003, 31(2): 4~5.
- [8] Well bore stability model, downhole motor help cut terra nova drilling costs by \$3,000 a metre[J]. New Technology Magazine, April/May 2003.
- [9] 王国庆,张斌. GLB1200-14型多线螺杆泵的研制与应用[J]. 石油机械, 2004, 32(9): 39~41.

Analyses on Improving the Life of the Screw Pump's Stator Rubber

CHEN Yu-xiang¹, WANG Xia¹, ZHOU Song¹, LI Chen-fu¹, ZENG Ming-you¹, HE Xian-ru¹, DING Rui²

(1. Southwest Petroleum Institute, Chengdu 610500, China; 2. Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: The paper introduces the design and technique of the screw pumps. In order to improve the service life of the screw pump, the working principle and factors affecting the service life of the screw pump are studied. The new rubber in a screw pump stator and the optimum design method of screw pumps at home and abroad in recent years are summarized. Applying the composite material mainly including silicate mineral and acrylonitrile-butadiene rubber, the activating silicate mineral nanometer complex material with good properties are developed, the properties of this material are better than that of carboxyl acrylonitrile-butadiene rubber and all-purpose acrylonitrile-butadiene rubber.

Key words: Screw pump; Stator rubber; Service life; Structure of screw pump; Nanometer material

2005年东南亚(广西)国际农业技术产品博览会

由中国国际经济技术合作促进会香港国际展览(集团)有限公司主办的这届博览会将于2005年11月19~21日在南宁国际会展中心开幕,支持单位涉及国内及东南亚多

国的公司。参展范围包括各种农业机械、高效用水技术及设备、温室技术及设备、各类肥料及农产品、农副产品等。会议期间还将举办研讨会及市场论坛、参展企业展品评奖、赴越南商务考察,等等。

询电:0771-2094380、2094381、2094382 苏锋

(小燕子)