

采油螺杆泵衬套橡胶摩擦磨损性能分析

杜秀华, 黄金艳, 田 密, 仇亭亭

(东北石油大学 机械科学与工程学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:对MPX-2000型磨损试验机进行改造并设计了专用夹具,利用金属圆环与衬套橡胶盘状试样在油水介质和油水砂介质中进行螺杆-衬套副的磨损模拟试验,测定衬套橡胶在不同法向载荷和滑动速度条件下的摩擦因数和磨损量。结果表明,衬套橡胶试样在油水和油水砂介质中的摩擦因数随法向载荷的增大而减小,随滑动速度的提高先增大后有所减小,而磨损量随法向载荷的增大而增加,随滑动速度的提高而减小。衬套橡胶试样在油水介质中的磨损主要表现为摩擦机理,而在油水砂介质中则主要表现为摩擦机理和湿磨粒磨损机理。

关键词:螺杆泵;衬套橡胶;磨损;摩擦因数

中图分类号:TQ336.4⁺1;TH327 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)11-0683-05

随着采油螺杆泵在油田中的推广和普及,对螺杆泵的寿命要求也越来越高。漏失是螺杆泵在采油过程中的主要失效形式之一^[1],漏失的产生是由螺杆-衬套副间的磨损造成的^[2]。因此,针对螺杆-衬套副间的磨损性能展开研究,对螺杆泵的寿命研究具有重要的现实意义。螺杆-衬套副的力学分析和磨损研究都要以其摩擦因数和磨损量为基础^[3-4]。本工作利用试验手段模拟螺杆泵的实际工况,测定衬套橡胶的摩擦因数以及磨损量随载荷和滑动速度的变化规律,为螺杆-衬套副磨损的进一步研究奠定基础。

1 试验装置及参数

采用宣化北伦平衡机制造有限公司生产的MPX-2000型磨损试验机,并在原磨损机上加装VFD022M43B型变频器,使电动机实现无级变频调速,从而满足试验要求。为模拟采油螺杆泵的实际工况,采用环盘对磨形式,盘状试样用衬套橡胶制成,厚度取6 mm,直径为64 mm;圆环试样采用40Cr钢,内径为34.5 mm,外径为39 mm,且对磨表面进行抛光处理。另外,还设计了特定的夹具,以装卡衬套橡胶圆盘试样,并可容纳试验介质。在采油螺杆泵的工作转速范围内,利用螺杆泵螺杆-衬套副相对滑动速度的计算公式^[5],以

GLB120-27型螺杆泵为例计算出对应的滑动速度,并根据试验设备的计算直径换算成试验设备的主轴转速:滑动速度为0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 m·s⁻¹时,主轴转速分别为104,208,312,416,520 r·min⁻¹。GLB120-27型采油螺杆泵螺杆-衬套副的接触压力为0.1~1.2 MPa^[6],在此区间取6个值。两试样的接触面积为2.6×10⁻⁴ m²,将压力换算成试验机上所加载荷值:接触压力为0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2 MPa时,载荷分别为50,100,160,210,260,310 N。

试验分两组进行,第1组试验选油水介质(油/水质量比为20/80);第2组试验选油水砂介质(油/水/砂质量比为20/78/2),分别模拟采油螺杆泵的两种工况。

2 摩擦因数的测定

两试样对磨时,摩擦转矩(M)的表达式为

$$M = \frac{N\mu d}{2} \quad (1)$$

式中 N ——法向载荷,N;

μ ——摩擦因数;

d ——计算直径,m。

由式(1)得摩擦因数的表达式为

$$\mu = \frac{M}{0.018375N} \quad (2)$$

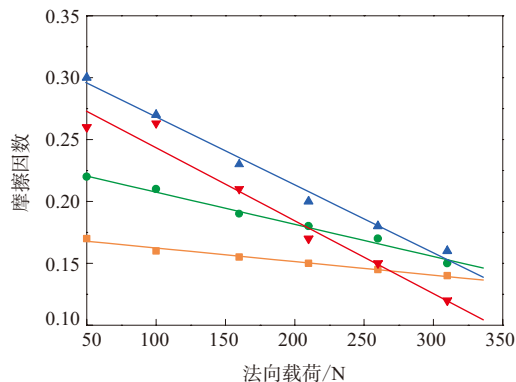
在磨损试验机上,根据主轴转速和载荷值,进行磨损试验,当摩擦转矩值趋于恒定时,记录摩擦

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12541098)

作者简介:杜秀华(1964—),女,黑龙江大庆人,东北石油大学教授,博士,主要从事采油机械的研究和教学工作。

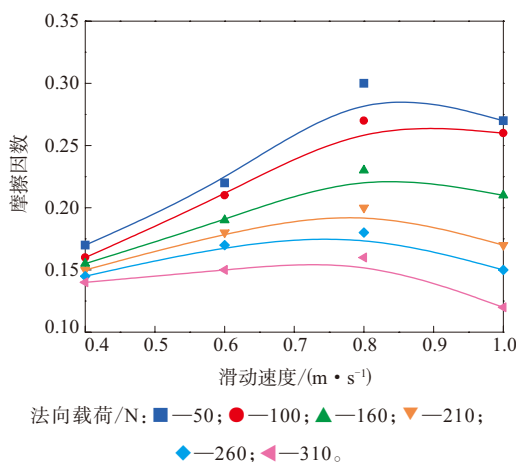
转矩值,再利用式(2)即可计算出摩擦因数。

在两组环境介质中,分别进行对磨试验,将试验数据分析处理,得出摩擦因数随法向载荷和滑动速度的变化规律,如图1—4所示。



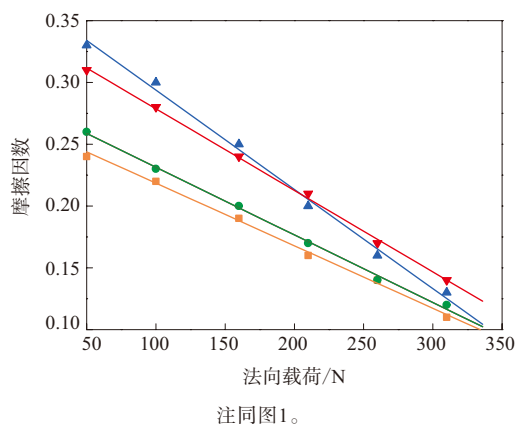
滑动速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$): —0.4; —0.6; —0.8; —1.0。

图1 油水介质中摩擦因数与法向载荷的关系



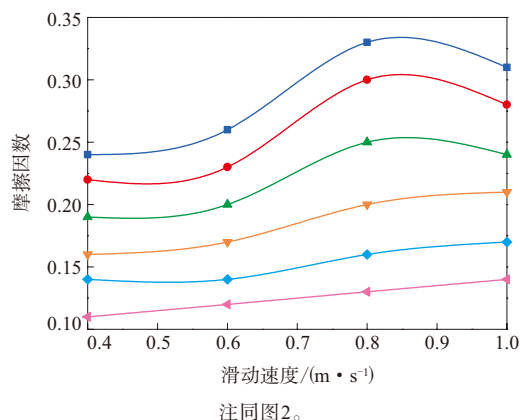
法向载荷/N: ■—50; ●—100; ▲—160; ▼—210;
◆—260; ▲—310。

图2 油水介质中摩擦因数与滑动速度的关系



注同图1。

图3 油水砂介质中摩擦因数与法向载荷的关系



注同图2。

图4 油水砂介质中摩擦因数与滑动速度的关系

由图1和3可知:在两组环境介质中,当滑动速度一定时,摩擦因数均随载荷增大而呈线性减小,在油水介质中,速度越大,摩擦因数减小得越快;在油水砂介质中,随载荷的增大,摩擦因数下降的速度基本一致。滑动速度在 $0.4 \sim 0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的范围内,速度越大,摩擦因数的水平越高,但是当滑动速度达到 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,摩擦因数的水平下降,这是由于高速下的热效应所致^[7]。

由图2和4可知,在两组环境介质中,当法向载荷一定时,摩擦因数随滑动速度的提高而增大,在油水介质中,当速度超过 $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,摩擦因数反而略有下降。

分别对比图1与3及图2与4可见,滑动速度和法向载荷都相同时,衬套橡胶试样在油水介质中的摩擦因数比在油水砂介质中低。

3 磨损量的测定及磨损表面形貌

表征材料磨损特性的参数很多,有磨损量、磨损率、磨损度、耐磨性系数、磨损系数和磨损速率等^[8]。为方便测量,本工作通过测试衬套橡胶试样在不同条件下的磨损量来分析衬套橡胶的磨损特性。试验条件同摩擦因数的测定条件。试验前将试样清洗干净,烘干,电子天平称量,然后装卡试样,设定转速,加载,开始试验。当金属环旋转达到设定转数后停机,取下试样,再清洗,烘干,称量,计算磨损量。在两组环境介质中磨损量与法向载荷和滑动速度的关系曲线如图5—8所示。利用日本日立公司生产的S-3400N型扫描电子显微镜对橡胶试样的磨损表面进行观察,磨损形貌

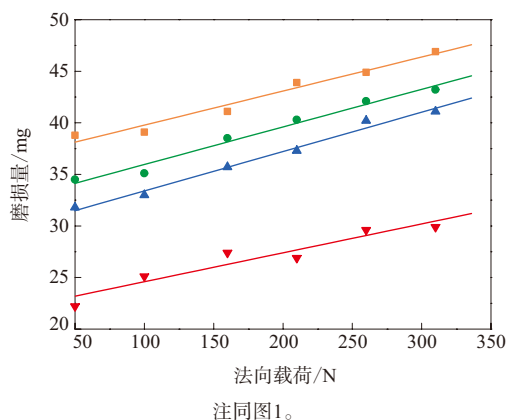


图5 油水介质中磨损量与法向载荷的关系

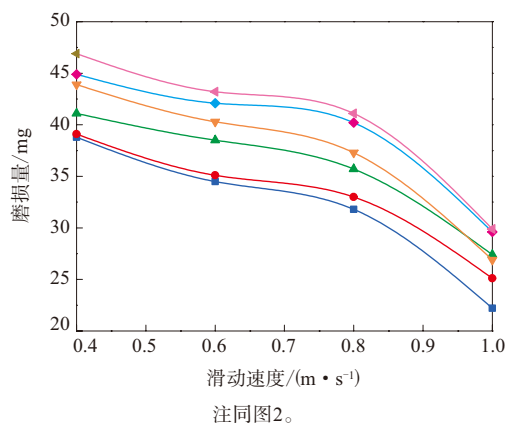
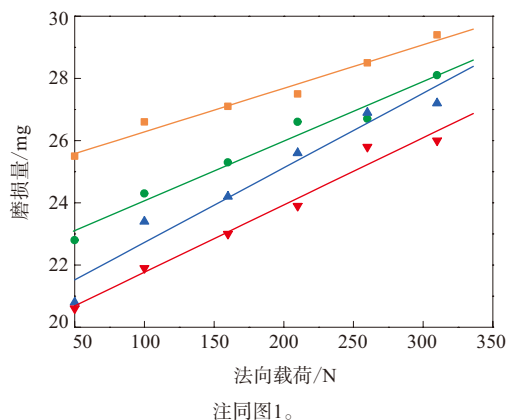


图6 油水介质中磨损量与滑动速度的关系

图7 油水砂介质中磨损量与法向载荷的关系
如图9所示。

由图5和7可知,衬套橡胶试样磨损量随法向载荷的增大,基本呈线性增大,在不同速度下,其增大的速率基本相同。由图6和8可知,衬套橡胶试样磨损量随滑动速度的提高明显减小,在不同

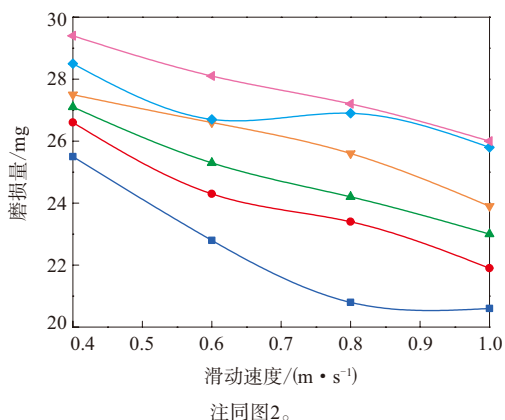


图8 油水砂介质中磨损量与滑动速度的关系

法向载荷下,其减小的速率也基本相同,这是由于滑动速度提高,当符合Lancaster判据时,将呈现局部流体润滑或混合润滑状态,从而改善摩擦表面的润滑状态,使两表面间的犁削作用减弱。两组环境介质中,磨损量随载荷增大而增大的速率基本相同,油水砂介质中磨损量随滑动速度提高而减小的趋势比油水介质中平缓。

由图9可以看出,法向载荷为310 N时,橡胶试样的磨损表面具有明显的磨损条纹,且油水砂中磨损条纹较宽;法向载荷为210 N时,其磨损表面比较平滑,磨损条纹不明显。这表明法向载荷对磨损量的影响较大,法向载荷增大,磨损量增大。

综上所述,在油水介质的试验条件下,衬套橡胶试样的磨损机理主要表现为摩擦机理。在油水砂介质的试验条件下,衬套橡胶试样的磨损机理主要表现为摩擦机理和湿磨粒磨损机理。在湿磨粒磨损的过程中,起主导作用的仍然是微切削作用机理和擦伤。

4 磨损速率

磨损速率是指在单位时间内橡胶试样所产生的磨耗。利用上述在油水介质中的试验数据,根据速度将磨损量换算成相应的磨损速率,磨损速率与法向载荷和滑动速度的关系曲线分别如图10和11所示。在油水砂介质中的磨损速率与法向载荷和滑动速度的关系曲线分别如图12和13所示。

由图10和12可知,在油水介质和油水砂介质中,磨损速率均随法向载荷的增大呈线性增大。

由图11可知,在油水介质中,随滑动速度的提

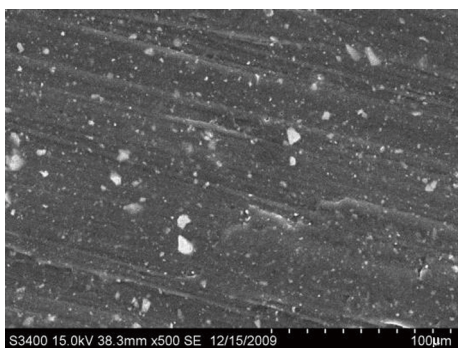
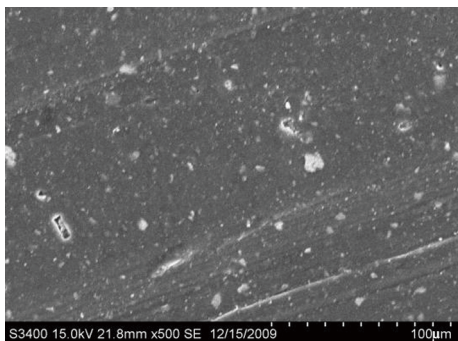
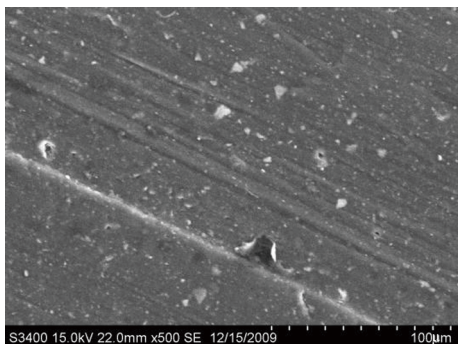
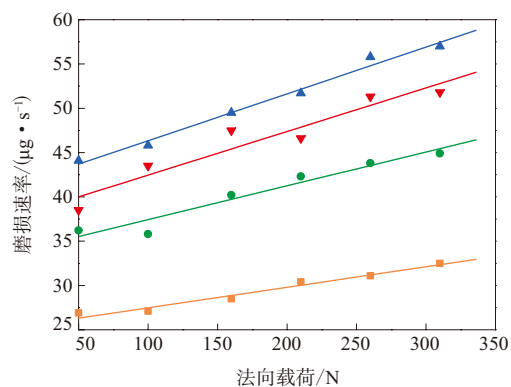
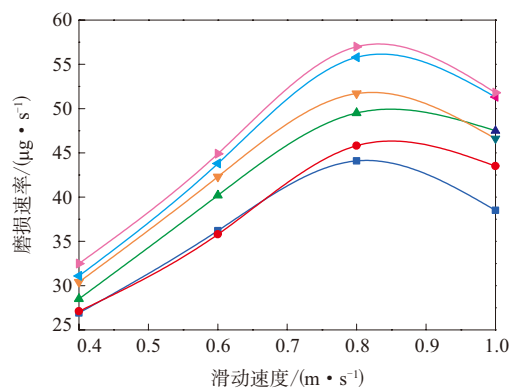
(a) 油水介质 ($0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 210 N)。(b) 油水介质 ($0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 310 N)(c) 油水砂介质 ($0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 210 N)(d) 油水砂介质 ($0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 310 N)

图9 不同条件下的磨损形貌(放大500倍)
高,磨损速率增大,当滑动速度超过 $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,



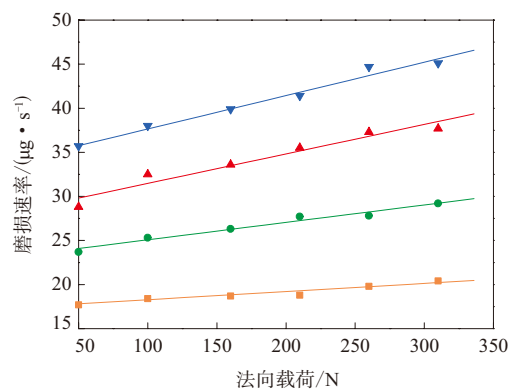
注同图1。

图10 油水介质中磨损速率与法向载荷的关系



注同图2。

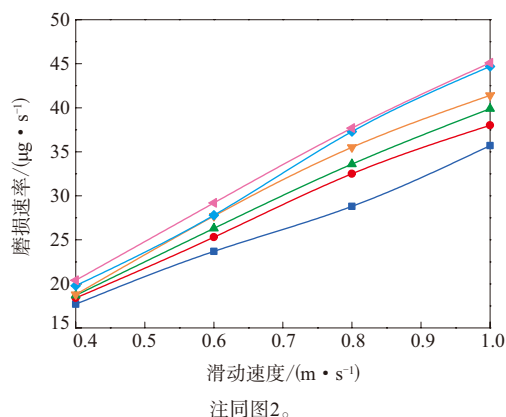
图11 油水介质中磨损速率与滑动速度的关系



注同图1。

图12 油水砂介质中磨损速率与法向载荷的关系

其磨损速率反而降低。这是由于滑动速度的提高改善了摩擦表面的局部润滑状态。由图13可以看出,在油水砂介质中,随滑动速度的提高,磨损速率一直增大,这是由油水砂介质中的磨损机理决定的。



注同图2。

图13 油水砂介质中磨损速率与滑动速度的关系

5 结论

(1) 衬套橡胶试样在油水和油水砂介质中的摩擦因数随法向载荷的增大而减小,随滑动速度的提高先增大后有所减小。滑动速度和法向载荷都相同时,衬套橡胶试样在油水介质中的摩擦因数比在油水砂介质中低。

(2) 衬套橡胶试样在油水和油水砂介质中的磨损量随法向载荷的增大而增加,随滑动速度的提高而减小。衬套橡胶试样在油水介质中的磨损主要表现为摩擦机理,而在油水砂介质中则主要

表现为摩擦机理和湿磨粒磨损机理。

(3) 衬套橡胶试样在油水和油水砂介质中的磨损速率随法向载荷的增大呈线性增大。在油水介质中,随滑动速度的提高,磨损速率先增大后减小;在油水砂介质中,随滑动速度的增加,磨损速率一直增大。

参考文献:

- [1] 金红杰,吴恒安,曹刚,等. 螺杆泵系统漏失和磨损机理研究[J]. 工程力学,2010,27(4):179-183.
- [2] 盖伟涛,戴瑾华. 井下螺杆泵定子的失效分析及解决办法[J]. 石油矿场机械,2008,37(9):71-73.
- [3] 王哲,王世杰,王爽,等. 干摩擦条件下丁腈橡胶、氟橡胶摩擦磨损行为研究[J]. 橡胶工业,2015,62(7):394-397.
- [4] 梁肇基,崔平正. 单螺杆泵定子磨损的分析及改善措施[J]. 流体机械,1991,20(7):27-30.
- [5] 杜秀华,刘双新,宋玉杰,等. 短幅内摆线型螺杆-衬套副滑动速度分析[J]. 化工机械,2015,4(4):522-526.
- [6] 赵毅. GLB120-27型螺杆泵三维模型举升压力分析[J]. 石油矿场机械,2011,40(7):9-12.
- [7] 刘道平. 对滑动摩擦热效应问题的认识[J]. 润滑与密封,1994(6):11-19.
- [8] 张嗣为. 橡胶磨损原理[M]. 北京:石油工业出版社,1998.

收稿日期:2016-05-13

Friction and Wear of Screw-Bushing Pair of Progressive Cavity Pump

DU Xiuhua, HUANG Jinyan, TIAN Mi, QIU Tingting

(Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: The MPX-2000 wear testing machine was modified, and a special fixture was designed. By using metal ring and bushing rubber disc test piece in the oil-water medium and oil-water-sand medium, the wear simulation test of screw-bushing pair was carried out to measure the friction coefficient and wear amount of liner rubber under different normal load and sliding speed. The results showed that, in the oil-water medium and oil-water-sand medium, the friction coefficient of the liner rubber decreased with increase of normal load, and it also increased with increase of sliding speed at first but would decrease with further increase of sliding speed, while the wear amount increased with increase of normal load and decreased with increase of sliding speed. In the oil-water medium, the wear of the liner rubber was mainly dominated by friction mechanism, while in oil-water-sand medium, the wear was caused by the friction mechanism and wet abrasive wear mechanism.

Key words: progressive cavity pump; liner rubber; wear; friction coefficient