

旋转式骨架油封关键参数对主唇配合区的影响分析

杨化林, 张启鑫, 宋正朴

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:模拟分析旋转式骨架油封关键参数对主唇过盈配合区变形和应力的影响。结果表明,随着过盈量(δ)、弹簧中心与唇尖轴向距离(R)、弹簧刚度系数(K)和油面角(α)增大,油封主唇产生的最大Von Mises应力和最大接触压力的变化规律相似;油侧接触宽度几乎不受各参数变化的影响; δ 和 K 对最大接触压力和接触宽度的影响均较大。

关键词:骨架油封;主唇;Von Mises应力;接触压力;接触宽度

中图分类号:TQ336.4;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2018)00-0000-05

油封是机械设备中密封旋转轴最常用的零部件之一。作为性能优异的密封件,油封广泛应用于汽车、机床等装备中^[1]。骨架油封的生产制造通常需要橡胶和钢材两种材料^[2],所用橡胶应具有良好的耐油性^[3]。骨架油封种类繁多,最常见的类型由橡胶基体、金属骨架和自紧螺旋弹簧三部分构成。油封的密封过程是利用密封唇与轴的过盈配合,通过柔性唇的作用阻挡密封流体向外界泄漏,并防止密封介质被外界杂质污染^[4-5]。关于油封的密封机理,国内外研究人员开展了大量理论分析与试验验证,陆续有张力理论、动压润滑理论、泵送理论等重要理论成果发表。泵送理论逐渐成为行业普遍认同的密封机理^[6-7]。油封的静态结构分析是研究泵送理论等密封机理的基础,同时也为油封的产品设计提供借鉴。目前对油封结构参数变化的影响规律研究还不够全面,油封结构的静态有限元分析是十分重要的议题。

本工作针对35×50×8规格油封,在无工作介质情况下,对油封与轴和腔体装配进行静态模拟,研究过盈量(δ)、弹簧中心与唇尖轴向距离(R)、弹簧刚度系数(K)和油面角(α)等重要参数对最大Von Mises应力、最大接触压力、接触宽度和接触压力分布的影响,以期为其他油封结构研究和性能分析提供一定的借鉴作用。

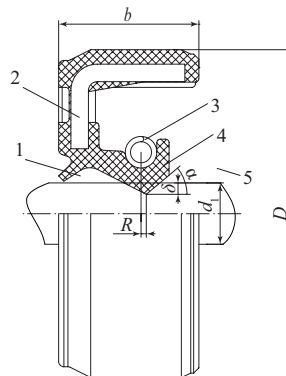
基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2014EL011)

作者简介:杨化林(1975—),男,山东菏泽人,青岛科技大学副教授,博士,从事机械CAD、知识工程和橡胶密封等研究。

E-mail:yanghualin@163.com

1 油封结构特点分析

油封结构如图1所示。在自由状态下,油封的内径稍小于轴径,即油封与轴形成过盈配合。过盈配合形成一定的接触区域,将空气侧与流体侧隔开,起到密封作用。起密封作用的接触区域与 δ 直接相关,同时还受 R 、 α 和 K 的影响。油封长期暴露于高温油和摩擦热当中,自紧螺旋弹簧密封唇的弹性会有所降低,弹簧可以提供附加力补偿径向负载的缺失,同时保持密封唇应力分布均匀。



1—空气侧;2—骨架;3—自紧螺旋弹簧;4—橡胶基体;5—流体侧。 d_1 —配合轴径; D —外径; b —基本宽度。

图1 油封结构示意图

2 有限元模型的建立

基于油封存在三重非线性做以下假设:(1)橡胶材料不可压缩,并具有确定的弹性模量和泊松比;(2)轴和腔体的刚度远大于油封,设为刚体。

将未变形状态下的橡胶假设为各向同性材

料,并用单位体积应变能函数来描述橡胶特性。Mooney-Rivlin模型应变能密度函数可以很好地模拟橡胶小至中等应变时的材料变形特性。本研究油封采用丁腈橡胶,其本构关系选用五参数Mooney-Rivlin模型表征。材料常数^[8-9]为: $C_{10}=1.26\text{ MPa}$, $C_{01}=-0.78\text{ MPa}$, $C_{20}=-1.68\text{ MPa}$, $C_{11}=-2.94\text{ MPa}$, $C_{02}=-0.74\text{ MPa}$ 。

如图1所示,油封的几何结构及边界条件都具有轴对称特性,可简化为二维有限元模型。为便于建模分析,弹簧简化为圆圈,并去掉远离唇口且对性能无影响的部分工艺尺寸。分析中采用轴的径向位移模拟过盈量。

3 结果与讨论

每个参数在常用范围内变化取值,其他参数值设置为常数,分别为: $\delta=0.6\text{ mm}$, $R=0.3\text{ mm}$, $K=0.7\text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, $\alpha=45^\circ$ 。

3.1 过盈量

存在一定过盈量的柔性密封唇能够对装配后轴产生的微偏心量进行补偿,并降低跳动量大的轴对密封性能的不利影响。 δ 太小,唇口接触区径向压力过小,导致油封早期泄漏; δ 太大,接触区径向压力过大,导致油膜中断,造成油封与轴干摩擦。因此, δ 是油封结构中极其重要的参数。

δ 在常用范围($0\sim 1\text{ mm}$)内取值,间隔 0.1 mm ,其对油封橡胶体最大Von Mises应力和最大接触压力的影响如图2所示。

从图2可以看出,随着 δ 的增大,最大Von Mises应力逐渐增大,但增幅随之减小,达到峰值后逐渐递减。而随着 δ 的增大,过盈配合得到加强,使径向接触压力快速增大,之后增幅减小,达到峰值后表现为下降趋势。整体而言,最大接触压力均大于最大Von Mises应力,表明该旋转式骨架油封具有较好的密封性能。

接触宽度随 δ 的变化曲线如图3所示。

从图3可以看出,随着 δ 的增大,总体接触宽度增大,较大的 δ 使轴与唇口接触面增大,导致接触压力分散减小。油侧接触宽度几乎不受 δ 的影响,而空气侧接触宽度与总接触宽度变化规律相同。

综上所述,随着 δ 在选定范围内增大,油封橡胶体的最大Von Mises应力和最大接触压力的变化

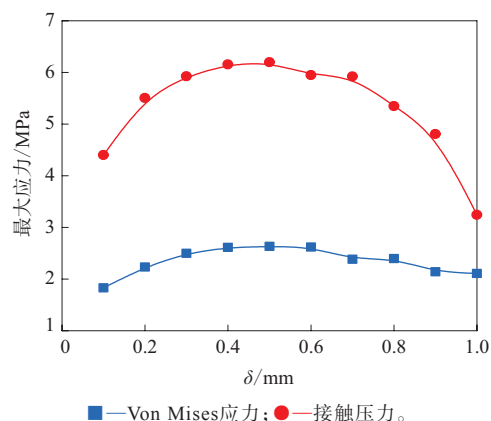


图2 唇口处最大应力随 δ 的变化曲线

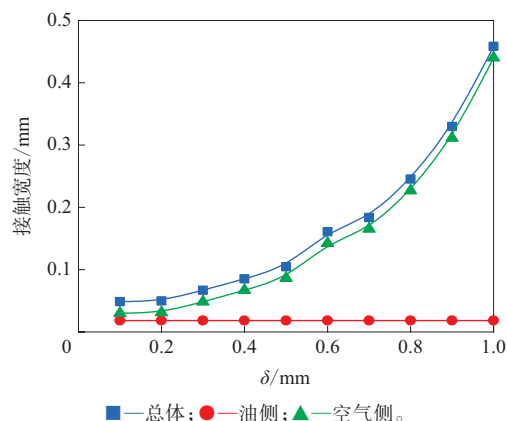


图3 接触宽度随 δ 的变化曲线

规律相似,先增大后减小。接触宽度随着 δ 的增大而递增,且增幅越来越大。油侧接触宽度几乎不变,空气侧接触宽度与总接触宽度变化规律相同。

3.2 弹簧中心与唇尖轴向距离

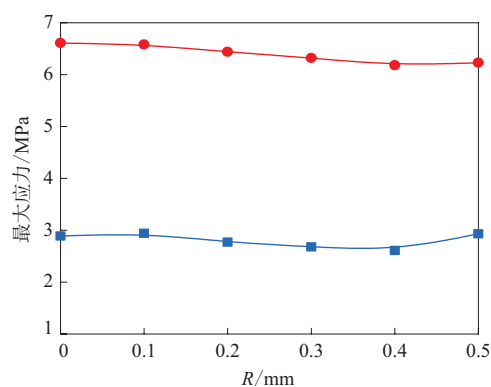
若 R 过大,则接触压力分散减小,导致油膜扩大,造成完全流体润滑而泄漏。若 R 过小,则不利于保持油膜的稳定存在。可见 R 对油封的密封性能有重要的影响。

R 在常用范围($0\sim 0.5\text{ mm}$)取值内,间隔 0.1 mm ,其对骨架油封唇口处最大应力的影响如图4所示。

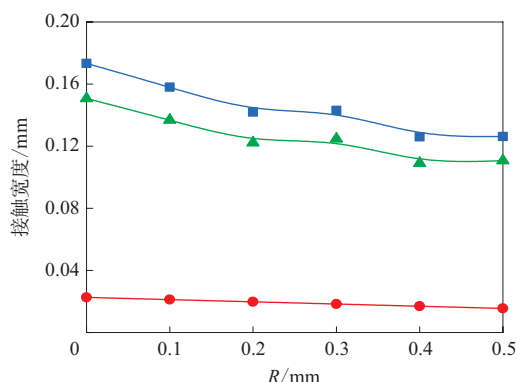
从图4可以看出,随着 R 的增大,油封橡胶体最大Von Mises应力总体呈减小趋势,但降幅不大,变化幅度在4%以内。最大接触压力逐渐减小,但其变化幅度也很小。

接触宽度随 R 的变化曲线如图5所示。

从图5可以看出,当 R 递增时,接触宽度却递减。油侧接触宽度占比很小且几乎不变,而空气



注同图2。

图4 唇口处最大应力随 R 的变化曲线

注同图3。

图5 接触宽度随 R 的变化曲线

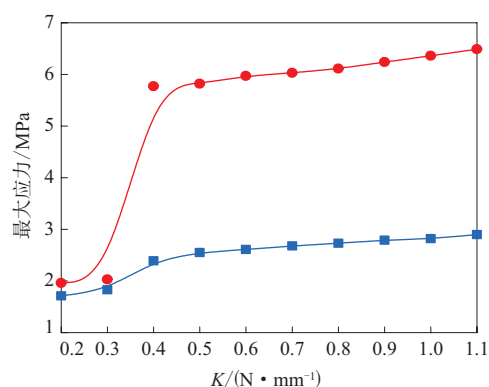
侧接触宽度与总接触宽度变化趋势相同。

综上所述,随着 R 在选定范围内增大,油封唇口处最大Von Mises应力和最大接触压力只有非常微小的变动,说明两者与 R 变化几乎不相关。接触宽度表现为递减,其中油侧接触宽度几乎不变,空气侧接触宽度与总接触宽度变化规律相同。

3.3 弹簧刚度系数

工作中的油封密封唇部因摩擦生热而使橡胶材料软化,进而导致热变形增大,磨损加剧,造成应力松弛。因此,只靠主唇部位的过盈和弹性屈挠变形不能完全保证唇口的径向力满足运转要求,需要设置弹簧保持唇口拥有足够的径向力,稳定润滑油膜,同时对轴的偏心起一定的补偿作用。弹簧直接对唇口密封接触区域施加作用,其工作负荷对油封的密封性能有很大的影响。

K 在常用范围($0.2 \sim 1.1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$)取值内,间隔 $0.1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$,其对油封橡胶体最大Von Mises应力和最大接触压力的影响如图6所示。

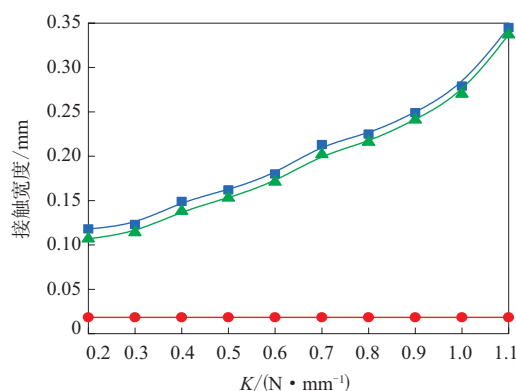


注同图2。

图6 唇口处最大应力随 K 的变化曲线

从图6可以看出,两者在 K 增大的过程中都表现为递增趋势,而且在 K 值较小时增长幅度较大。

接触宽度随 K 的变化曲线如图7所示。



注同图3。

图7 接触宽度随 K 的变化曲线

从图7可以看出,接触宽度与 K 呈正相关。油侧接触宽度几乎不变,而空气侧接触宽度与总接触宽度变化规律相同,表现为增大趋势。

综上所述,随着 K 在所选范围内增大,油封橡胶体的最大Von Mises应力、最大接触压力和接触宽度都增大,前两者增幅逐渐变小。油侧接触宽度几乎不受 K 值影响,空气侧接触宽度与总接触宽度变化规律相同。

3.4 油面角

油面角 α 即前唇角,是唇口内壁相对轴向的倾角。 α 过大,唇口过于尖锐,不易保持油膜; α 过小,唇口过钝,易形成完全流体润滑而泄漏。 α 在油封的结构设计中也是特别重要的参数。

α 在常用范围($41^\circ \sim 50^\circ$)内取值,间隔 1° ,其对

油封橡胶体最大Von Mises应力和最大接触压力的影响如图8所示。

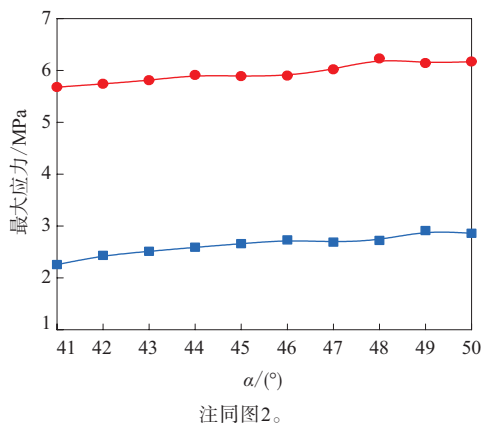


图8 唇口处最大应力随 α 的变化曲线

从图8可以看出,随着 α 的增大,最大Von Mises应力总体表现为上升趋势,但是最大接触压力的变化趋势有所不同,中前期小幅缓慢增长,后期则呈小幅下降趋势。

接触宽度随 α 的变化曲线如图9所示。

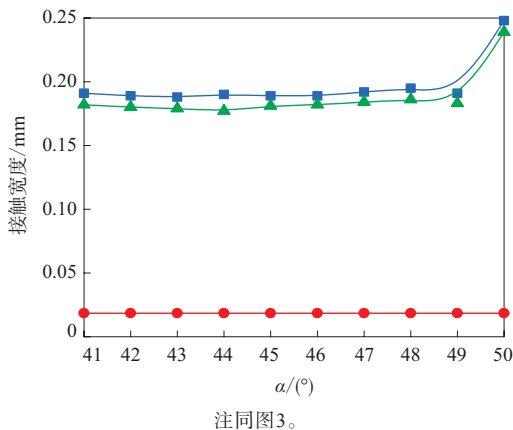


图9 接触宽度随 α 的变化曲线

从图9可以看出,增大 α ,总接触宽度在前期受影响很小,产生微幅减小,但是在后期变化过程中呈现增长趋势,而且增幅加大。同时,油侧接触宽度仍然只有非常微小的变动,说明其几乎不受 α 的影响,而空气侧接触宽度总体变化规律与总接触宽度相一致。

综上所述,随着 α 在选定范围内增大,油封橡胶体的最大Von Mises应力增大,而最大接触压力在前期表现为小幅增大,后期则呈现小幅下降趋势。接触宽度在前期变化极小,只有微量减小,后

期有递增趋势,且增幅变大。

4 结论

理想的密封状态是用尽量小的径向力得到尽可能尖锐的峰形压力分布,且峰形越尖锐,性能越好。因此,最大接触压力和接触宽度的优化对密封效果的提高具有重要意义。

(1)最大Von Mises应力和最大接触压变化规律相似, R 和 α 对其影响不大。调整 δ 和 K 值对优化最大接触压力更有效。

(2)由于最大接触压力几乎不受 R 的影响,而与接触宽度有一定的相关性,因此,若在维持最大接触压力稳定的前提下优化接触宽度,调整 R 值是一种有效途径。

(3) δ 和 K 对接触宽度影响最大, R 值次之。若要大幅调整接触宽度,则重新设计 δ 和选用新弹簧效果更明显。油侧接触宽度几乎不受各参数变化的影响。

本工作可为研究油封其他相关密封性能、优化唇部结构尺寸提供参考。

参考文献:

- [1] 贾晓红,郭飞,黄乐,等. 基于混合润滑数值模型的油封结构优化[J]. 润滑与密封,2013,38(8):1-5.
- [2] 丁攀攀,白骏烈. 提高油封耐磨性能的途径[J]. 橡胶工业,2010,57(4):251-255.
- [3] 许治国,周安伟,王晓英,等. 橡胶密封圈密封性能预判方法研究[J]. 橡胶工业,2016,63(5):297-300.
- [4] 杨化林,王伟,陶丽娜,等. 回转式骨架油封收缩变形模型研究[J]. 润滑与密封,2015,40(8):31-34.
- [5] 汪加科,王树林. 隧道掘进机主轴密封系统性能的研究[J]. 橡胶工业,2014,61(10):618-621.
- [6] Yang A S, Wen C Y, Tseng C S. Analysis of Flow Field around a Ribbed Helix Lip Seal[J]. Tribology International,2009,42(5):649-656.
- [7] Chung Kyun Kim, Woo Jeon Shim. Analysis of Contact Force and Thermal Behavior of Lip Seals[J]. Tribology International, 1997, 30(2):113-119.
- [8] 郭飞,贾晓红,王玉明. 旋转轴唇形密封圈混合润滑理论模型和试验验证[J]. 机械工程学报,2014,50(3):137-144.
- [9] Jia X H, Jung S, Haas W, et al. Numerical Simulation and Experimental Study of Shaft Pumping by Laser Structured Shafts with Rotary Lip Seals[J]. Tribology International,2011,44(5):651-659.

收稿日期:2018-04-23

Effect of Key Parameters of Rotary Skeleton Oil Seal on Main Lip Interference Fit Zone

YANG Hualin, ZHANG Qixin, SONG Zhengpu

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The effect of key parameters of rotary skeleton oil seal on the deformation and stress of main lip interference fit zone was simulated. The results showed that with the increase of interference amount (δ), axial distance between spring center and lip tip (R), spring stiffness coefficient (K) and oil side contact surface angle (α), the maximum Von Mises stress and maximum contact pressure of the seal main lip changed similarly. The oil side contact width was influenced little by the parameters, and the maximum contact pressure and contact width were affected significantly by δ and K .

Key words: skeleton oil seal; main lip; Von Mises stress; contact pressure; contact width