

# 汽车用旋转轴唇形橡胶密封圈的技术概况

方亚妮, 韩增波

(中国重型汽车集团济南橡塑件有限公司, 山东 济南 250300)

**摘要:**概述汽车用旋转轴唇形橡胶密封圈(简称油封)的分类、密封机理、结构设计及其参数选择、发展动向等。油封的种类繁多,结构形式包括内包骨架油封(B型)、外露骨架油封(W型)、装配式油封(Z型)、有副唇内包骨架油封(FB型)、有副唇外露骨架油封(FW型)、有副唇装配式油封(FZ型)以及流体动力型油封;油封的密封机理包括边界润滑理论和表面张力密封理论;油封的内外径过盈量、径向力、随动性、唇口接触宽度等结构设计参数影响其使用性能;轴的表面粗糙度、加工方法以及材质和硬度对油封的密封性能和使用寿命影响很大。油封的计算机辅助设计和辅助制造以及自动测试技术研究将进一步开展,新型橡胶材料在油封胶料中的应用发展将加快。

**关键词:**旋转轴唇形橡胶密封圈;密封机理;密封性能;结构设计

**中图分类号:**TQ336.4<sup>+</sup>2

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2023)05-0375-07

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2023-05-0375

旋转轴唇形橡胶密封圈是指具有柔性唇、大多带有金属骨架、靠密封刃口施加轴径向力以防止泄漏的橡胶密封圈,通常被称为橡胶油封(以下简称油封)<sup>[1-2]</sup>。油封的主要功能是防止机器内部的介质(如润滑油等)泄漏,同时防止外部灰尘和水分等侵入密封机构内部,保证机器在良好的润滑状态下正常工作<sup>[3-8]</sup>。自油封问世以来,因其结构简单、装卸容易、密封效果好等优点,成为汽车必不可少的零部件。一种车型采用高质量油封的多少,反映了该车型的先进程度<sup>[9-10]</sup>。油封是受多种因素影响的非常精密复杂的组合件,其性能直接影响其装配总成乃至整车的性能。

本文概述了汽车用油封的分类、密封机理、结构设计及其参数选择、发展动向等。

## 1 油封的分类及在汽车中的应用

油封的种类繁多,根据不同的分类方法大致

可归纳如下。

(1)按旋转轴的运动状态,可分为低速油封(线速度小于 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、中速油封(线速度为 $8\sim 17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )和高速油封(线速度大于 $17\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

(2)按密封流体的种类,可分为气体密封和流体密封。

(3)按密封流体的压力,可分为低压油封(工作压力小于 $0.05\text{ MPa}$ )和高压油封(工作压力大于 $0.05\text{ MPa}$ )。

(4)按密封唇形式,可分为单唇油封和复唇油封(包括带防尘唇的油封和分隔两种介质的双密封唇油封)。

(5)按组件材质,可分为骨架式油封、纯胶油封和复合式油封。

(6)按有无弹簧,可分为有弹簧型油封和无弹簧型油封<sup>[11]</sup>。

(7)按流体的回流效应,可分为普通光面油封和流体动力油封。

**作者简介:**方亚妮(1989—),女,陕西榆林人,中国重型汽车集团济南橡塑件有限公司工程师,学士,主要从事橡胶制品及其模具结构、生产工艺的研发工作。

**E-mail:**19861891532@126.com

**引用本文:**方亚妮,韩增波.汽车用旋转轴唇形橡胶密封圈的技术概况[J].橡胶工业,2023,70(5):375-381.

**Citation:**FANG Yani,HAN Zengbo.Technical status of rotary shaft lip type rubber seal for automobile[J].China Rubber Industry,2023,70(5):375-381.

目前,我国国家标准已分型的油封结构形式包括内包骨架油封(B型)、外露骨架油封(W型)、装配式油封(Z型)、有副唇内包骨架油封(FB型)、

有副唇外露骨架油封(FW型)、有副唇装配式油封(FZ型)(见图1)以及流体动力型油封。

油封应用于汽车的各个部位,例如斯太尔重

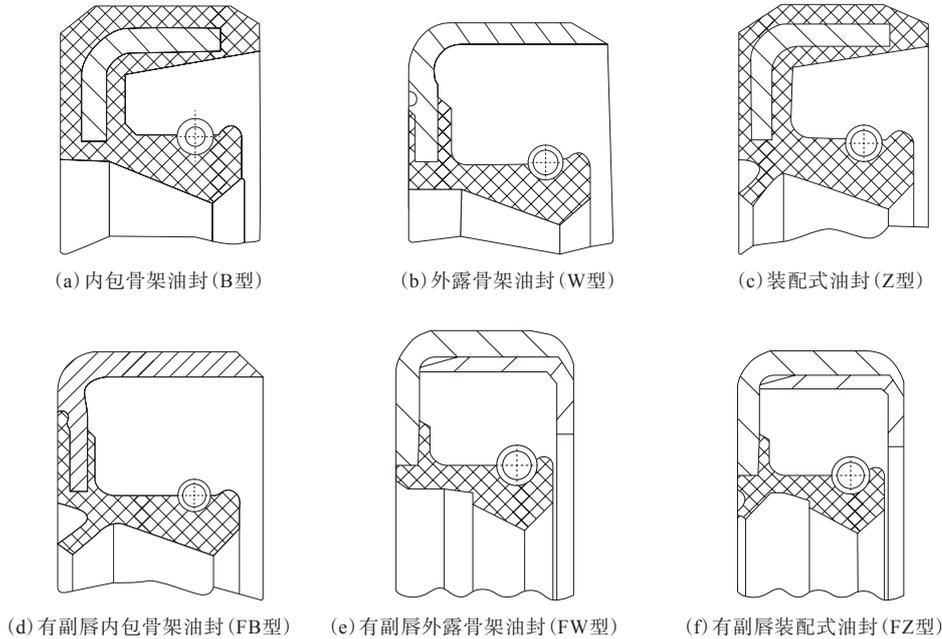


图1 几种油封结构形式示意  
Fig. 1 Diagram of several oil seal structures

型汽车采用了20余个规格的50余件油封,这些油封主要用于发动机、传动装置、前后桥和分动箱等。

## 2 油封的密封机理和摩擦特性

### 2.1 边界润滑理论

油封安装在轴上时,在油封唇口与轴之间存在着干摩擦、边界润滑和流体润滑3种状态,油封唇口与轴的接触面之间存在1层油膜,油膜的厚度随着径向力的大小而变化,当油膜厚度达到某一值时(平均厚度约为 $2.5\ \mu\text{m}$ ,波动幅度为20%~25%),便可获得密封,此油膜被称之为边界油膜。在油封正常的密封情况下,形成了边界油膜。边界油膜的存在与被密封面对油的吸附能力密切相关,油封一旦泄漏,意味着边界油膜被破坏,形成流体润滑或干摩擦(最终亦形成流体润滑)。密封面的接触压力呈尖锐分布(尖三角形)时最有利于密封,如图2所示。这样只需较小

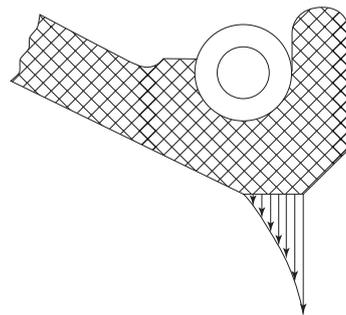


图2 油封安装后的接触压力分布  
Fig. 2 Contact pressure distribution after oil seal installation

的径向压力、较小的唇口接触宽度便可形成边界油膜。

### 2.2 表面张力密封理论

油封唇口与轴的接触面上存在一定厚度的油膜,此油膜厚度一般大于边界油膜厚度,刚好足以及在唇口大气一侧形成弯月面,只要这一弯月面存在,表面张力便可起密封作用,这就是表面张力理论,如图3所示。

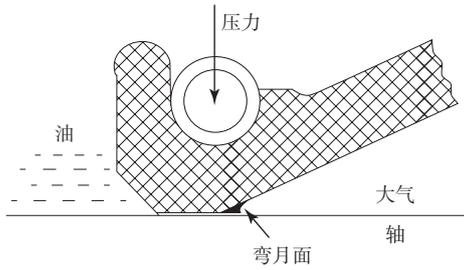


图3 表面张力理论示意

Fig. 3 Diagram of surface tension theory

油膜厚度与摩擦因数有密切关系, 经验公式为

$$\mu = \theta^3 \sqrt{G}$$

$$G = \frac{Zbv}{P}$$

式中,  $\mu$ 为摩擦因数,  $\theta$ 为常数,  $G$ 为摩擦特性参数,  $Z$ 为油的粘度,  $b$ 为唇口接触宽度,  $v$ 为线速度,  $P$ 为总接触压力。

油封密封与泄漏的临界线为 $\mu G - (1/3)$ 。当 $\mu G - (1/3) > \theta_c$  (比例常数) 时, 油封密封良好; 当 $\mu G - (1/3) < \theta_c$  时, 油封泄漏。

### 3 油封设计

油封设计的主要依据是油封的使用条件、装配条件和环境条件, 同时应综合考虑密封性能、使用寿命、制造工艺和经济性等因素。

#### 3.1 胶料的主体材料选择

油封设计时首先要选择合适的油封材料。油封胶料能够耐高低温、耐介质、耐磨及工艺性能良好等。油封胶料所用主体材料一般为丁腈橡胶(NBR)、丙烯酸酯橡胶、硅橡胶、氟橡胶和聚氨酯橡胶。

对于耐受温度要求不高(100 °C左右)、使用一般矿物润滑油的油封, 如传动轴油封和轮毂油封等, 其胶料的主体材料可选用NBR。NBR油封对一般的矿物油有很好的抗耐性, 可在-40~120 °C的范围内长期使用。对齿轮箱油封来说, 虽然使用温度一般不超过120 °C, 但其润滑油如双曲线齿轮油等含有一些抗磨、抗蚀、抗高温添加剂的主要成分(氯、磷、硫), 在油封工作时由于油封唇口与轴高速摩擦而生热, 唇口温度比油温高5~40 °C, 达到125~160 °C, 这会导致油中的硫等与胶

料反应, 使油封唇部变得又硬又脆而无法使用; 而磷在高温下又能使胶料的物理性能大幅下降。因此, 在这种情况下应使用丙烯酸酯橡胶和氟橡胶作为油封胶料的主体材料。氟橡胶因具有其他橡胶无可比拟的耐高温、耐介质、耐化学腐蚀等性能, 已在一些车型的主要部件的油封如桑塔纳轿车和斯太尔重型汽车的发动机曲轴前后油封胶料中使用。

#### 3.2 结构设计及其参数选择

在油封结构设计中, 使用参数和设计参数应相适应, 影响油封使用性能的主要因素包括内外径过盈量、径向力、随动性、唇口接触宽度、抗压能力等, 这里仅以流体动力油封为例, 对油封的设计进行简单阐述。

##### 3.2.1 单向沟槽动力油封

单向沟槽动力油封是将油封唇部空气侧刻上与轴平面成一定角度的沟槽, 沟槽的角度为15°~25°, 深度为0.12 mm左右, 条数可达100以上, 如图4所示。这些沟槽与轴形成了一个尖三角区, 使漏出的油被沟槽在轴旋转力的作用下推至尖三角区, 使得尖三角区油粒子逐渐增多, 油压不断升高, 直至透过静唇边回流至油侧, 实现密封。这些沟槽总成相当于一个泵, 把已经漏出的油又重新泵回油腔; 但当轴反转时(如倒车), 又会将油泵向大气一侧。

##### 3.2.2 双向沟槽动力油封

双向沟槽动力油封是一种正、反转都可起回

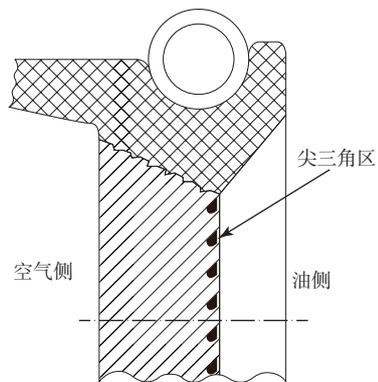


图4 单向沟槽动力油封的工作原理示意

Fig. 4 Diagram of working principle of one-way groove power oil seal

流作用的流体动力油封,它是在油封唇部空气侧刻上数个与轴平面成一定角度( $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ,轴径越大,角度越小)的椭圆形沟槽,沟槽的间距为0.52 mm,深度为0.12 mm左右,展开后呈同心圆,如图5所示。设计时应将与唇口圆周相交的沟槽控制在2—4条,使沟槽凸棱与轴平面构成三角区,其工作原理与单向沟槽动力油封相同,特点是正、反转都可回油,克服了单向沟槽油封只能按规定方向单向回油的不足。

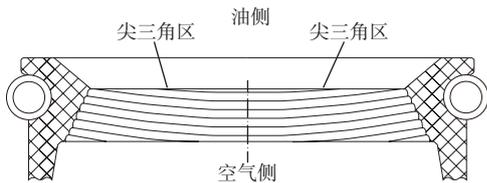


图5 双向沟槽动力油封的工作原理示意  
Fig. 5 Diagram of working principle of two-way groove power oil seal

双向沟槽动力油封的沟槽形式还有三角形凸台、抛物线状凸缘和正弦波状凸缘等,不同形式的沟槽油封的回流效果不同,其中以椭圆形沟槽油封的泵送能力最大,密封效果最佳。

### 3.2.3 油封的内外径过盈量

油封是依靠其内外径与轴或孔座的过盈配合实现密封的,油封内外径过盈量对其密封性能具有重要影响。作为静密封面的外径,若外径过盈量太小,则密封的可靠性差,易产生泄漏;若外径过盈量过大,则装配困难,易造成油封损坏。内径过盈量小,油封的动态密封性能不好,易泄漏;内径过盈量大,造成唇口过分伸张,导致摩擦生热和磨损,造成油封早期损坏。可见,油封内外径过盈量是油封结构设计的重要一环。

选取最佳内外径过盈量以保证油封的正常装配和使用,可遵循以下原则:对于速度要求高的油封,内外径过盈量应小一些,反之应大一些;轴径大,内外径过盈量应大一些,反之应小一些。另外,油封的内外径过盈量对轴的表面粗糙度的补偿能力和偏心量的跟随能力有重要影响,内外径过盈量越大,唇部对轴的偏心量的跟随能力越大,因此当轴的偏心量大时,内外径过盈量也要随之增大,内外径过盈量可以等于或大于轴的偏心

量。同时,内外径过盈量与整个唇部径向力有关,选取时应综合考虑。

### 3.2.4 油封唇口到弹簧槽中心线的距离

油封唇口到弹簧槽中心线的距离被称为 $R$ 值,如图6所示。 $R$ 值也是油封唇口与轴的理论接触宽度,是油封的一个重要结构参数, $R$ 值过大,接触摩擦力矩过大,磨损过大,生热过高,油封的使用寿命缩短; $R$ 值过小(为负值时),会导致油封泄漏。另外, $R$ 值大小与唇部的跟随能力也有很大关系。对于高速油封,将 $R$ 值由0.7~1.2 mm减小至0.3~0.5 mm,可以提高唇部对轴的跟随性。原因是该部位对唇口的动态变形只有支点作用, $R$ 值大时,唇部变形大,恢复速度慢,跟不上轴的偏心 and 跳动变化。

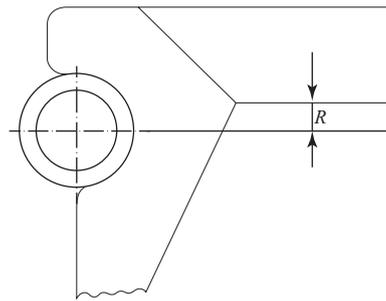


图6  $R$ 值示意  
Fig. 6 Diagram of  $R$  value

$R$ 值的大小主要由油封的尺寸大小和速度决定。油封的速度越高, $R$ 值应越小,当线速度为 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $R$ 值为0.3~0.4 mm;当线速度达 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, $R$ 值应等于零。

### 3.2.5 油封的腰部设计

油封的腰部几何尺寸和形状是影响油封跟随能力的主要因素之一。过去的等厚度腰部设计容易导致油封的腰部变形鼓肚,使整个腰部直接与轴接触,将唇口抬高离轴表面,引起漏油,如图7(a)所示。但是单纯地加大腰部厚度又不利于唇部的跟随能力,需要对腰部几何形状进行优化设计,以斯太尔汽车油封为例,将其腰部设计成一个三角形,如图7(b)所示,腰部最薄处离金属骨架很近,这样既保证了腰部刚性,又不会影响唇部对轴偏心的跟随能力,也根除了油封鼓肚现象。经过油封的台架试验和实际使用证明,油封腰部的三角

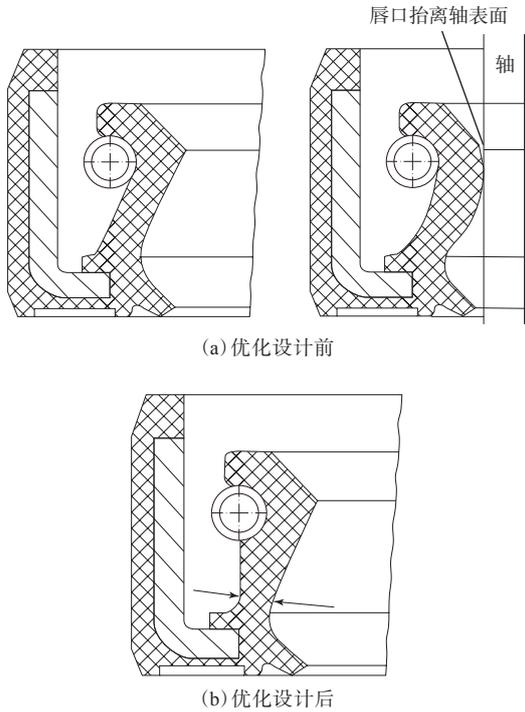


图7 油封腰部的优化设计示意

Fig. 7 Diagram of oil seal waist optimization design

形设计是可行的。另外,腰部长度除影响油封的跟随能力外,还受密封介质的制约,腰部长度过大,耐压性能差,易变形;腰部长度过小,则油封的随动性能差。

油封的腰部提供的径向力约为油封的唇部径向力的50%,为了保持一个较小的径向力,可适当地增大油封的腰部长度。在保证耐压性能的条件下,油封的腰部长度应尽量大一些。

### 3.2.6 副唇

目前国内许多油封的副唇设计直径小于轴径,两者之间有一定的过盈量,以通过副唇与轴的过盈配合阻止外部杂质进入内部,但实际上这样设计反而使副唇与密封唇之间形成真空,造成密封唇变形,另外副唇处于干摩擦状态,易磨损,磨损物进入油封的密封唇,引起泄漏。合理的设计应使副唇直径大于轴径,当副唇与轴之间的间隙为0.2~0.5 mm时油封的使用寿命较长。为使副唇具有一定的强度以抵御外部灰尘和水的侵入,在设计中,副唇宽度一般取0.5~0.8 mm,其中大规格油封取大值,小规格油封取小值。副唇与轴接触的角度至少在90°以上。

### 3.2.7 油封的径向力

油封的径向力是指油封紧箍在轴上的力,它来源于弹簧和唇部的收缩以及油封的腰部弯曲变形。径向力是影响油封密封性能的主要参数之一。油封在工作状态时,对轴所形成的径向力( $P_r$ )由3个部分组成,即

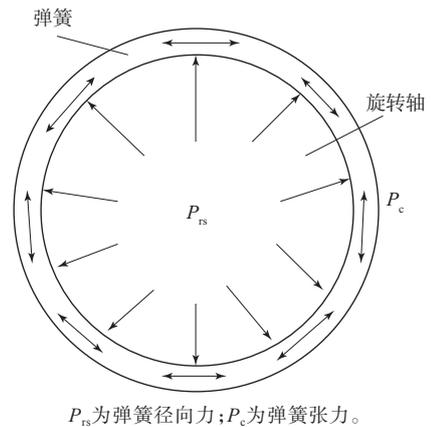
$$P_r = P_c + P_s + P_a$$

式中, $P_c$ 为油封的唇部过盈量及腰部应变力所形成的径向力, $P_s$ 为弹簧伸长后对轴形成的箍紧力, $P_a$ 为流体压力。

一般油封是在无压力或介质压力不大于0.15 MPa下工作的,因此 $P_a$ 可忽略不计; $P_c$ 在油封的使用过程中是个容易变动的值,它会因胶料溶胀、磨损及唇部升温而发生变化, $P_c$ 在油封的总径向力中占比很小; $P_s$ 是弹簧伸张应力,是个较稳定的值,它与弹簧材质、结构和拉伸量有关, $P_s$ 占油封的总径向力的70%~80%。可见,可以通过调节弹簧参数来调节 $P_r$ 。

### 3.2.8 弹簧及弹簧槽

当油封的弹簧按一定的伸长率呈环状套在轴上时,其受力如图8所示。



$P_{rs}$ 为弹簧径向力; $P_c$ 为弹簧张力。

图8 弹簧受力示意

Fig. 8 Diagram of spring forces

油封的弹簧结构设计的相关计算可以按照以下步骤进行。

(1) 确定 $P_r$ 并计算出 $P_{rs}$ 。

(2) 计算 $P_c$ ,  $P_c = P_{rs} / (2\pi)$ 。

(3) 根据 $P_c$ 选定弹簧钢丝直径、缠绕比、伸长率。其中,缠绕比一般为5~7,伸长率(与 $P_c$ 成线性

关系)一般为5%~10%,钢丝直径一般小于1 mm,材质为碳素弹簧钢丝。

(4)弹簧结构及伸长率确定后,即可计算弹簧自由长度。

(5)弹簧槽半径与弹簧半径存在关系为:当弹簧槽半径小于弹簧半径时,油封的唇口应力分布状态不好,往往出现多应力现象;弹簧槽半径不小于弹簧半径时,唇口应力分布状态良好,唇口应力较集中。

#### 4 轴对油封性能的影响

油封即为旋转轴密封圈,轴本身的性能对油封性能的影响至关重要。轴的表面状态、几何形状、偏心度和跳动量对油封的密封性能及使用寿命有很大的影响。

##### 4.1 轴的表面粗糙度

轴的表面粗糙度过小时,密封唇下方无能力保存油,唇口与轴的粘附性大;轴的表面粗糙度过大时,造成唇部与轴直接接触,轴的表面凸点与唇的凹部互相咬合,导致摩擦力矩过大。当轴的表面粗糙度为 $0.8\ \mu\text{m}$ 时,能够形成一个适中的摩擦力矩,使油封在良好的油膜润滑状态下工作。

##### 4.2 轴的加工方法

轴的加工方法有车削、磨削、抛光、电镀等,采用不同的加工方法时,轴的表面粗糙度也不相同<sup>[12-13]</sup>。其中抛光加工的轴最不容易泄漏,其他加工方法如车削和磨削都易产生带方向性的沟槽或走刀痕迹,但抛光后能减少这种方向性的沟槽或走刀痕迹。

##### 4.3 轴的材质及硬度

轴的材质为中碳钢或不锈钢时,油封的使用效果较好。特别推荐采用氮化处理的方法处理轴。轴的最低洛氏硬度为HRC45;当轴的速度超过 $14\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,轴的洛氏硬度应达HRC55以上。

#### 5 油封的发展动向

##### 5.1 自动化技术应用

随着科技的进步,油封的研发途径应不断更新,自动化技术必须广泛应用。将油封的密封机理和失效模式、材料性能以及产品结构参数输入

程序,进行油封的计算机辅助设计和辅助制造,可从根本上提高油封产品的可靠性、稳定性和耐久性。相关研究课题将进一步开展。

##### 5.2 新型橡胶材料应用

随着汽车向高性能化发展,新型橡胶材料在油封中的应用加快。胶料的主体材料由普通耐油橡胶逐步转向高附加值氟硅橡胶和氢化丁腈橡胶,橡胶与塑料或/和树脂并用以及胶料中加入短纤维作为补强剂将大量涌现。此外,新型纳米配合剂的应用将进一步增强油封的密封效果和延长其使用寿命。

##### 5.3 先进结构及标准采用

在我国汽车进口的同时,引进了许多先进结构油封如复合骨架油封、多密封唇油封、唇部涂覆聚四氟乙烯的油封等,使油封的应用范围进一步扩大和密封质量进一步提高;同时,也引进了发达国家的油封标准如美国的ASTM、德国的DIN、日本的JIS等相关标准,促进了我国油封技术的进步。特别是我国加入WTO以后,油封的国家标准与国际标准和先进国家的标准逐渐接轨。

##### 5.4 先进测试技术采用

油封的工艺性能和使用性能的测试技术正逐渐实现自动化,而对油封采用无触点测试仪检测尺寸及其公差、运用全自动设备光电检测唇口缺陷等也成为重要的科研课题。

#### 参考文献:

- [1] 李苗苗,陈蔚芳,崔惠婷,等. 安装过盈量和介质压力对旋转轴唇形橡胶密封圈密封性能的影响[J]. 橡胶工业,2019,66(6):450-455.  
LI M M, CHEN W F, CUI H T, et al. Influence of installation interference and medium pressure on sealing performance of rotating shaft lip rubber seal ring[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(6): 450-455.
- [2] LIU D, WANG S P, ZHANG C. A multiscale wear simulation method for rotary lip seal under mixed lubricating conditions[J]. Tribology International, 2018. DOI:10.1016/j.triboint.2018.01.007.
- [3] 付安康. 液压往复密封用V型密封圈密封性能研究[D]. 天津:天津大学,2020.  
FU Y K. Study on sealing performance of V-shaped sealing ring for hydraulic reciprocating seal [D]. Tianjin: Tianjin University, 2020.
- [4] 吴健,王永刚,张传兵,等. 基于多尺度分析的径向唇形密封摩擦行为研究[J]. 橡胶工业,2020,67(10):769-772.

- WU J, WANG Y G, ZHANG C B, et al. Research on friction behavior of radial lip seal based on multi-scale analysis[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(10): 769-772.
- [5] 李双喜, 许灿, 刘兴华, 等. 旋转式唇型圈停车密封开启全过程密封特性研究[J]. 润滑与密封, 2022, 47(1): 37-43.
- LI S X, XU C, LIU X H, et al. Research on sealing characteristics of rotary lip type parking seal in the whole opening process[J]. Lubrication Engineering, 2022, 47(1): 37-43.
- [6] 王京丽, 程洪民, 赵登利. 风电机组主轴密封方案改进[J]. 中国重型装备, 2022(2): 31-33.
- WANG J L, CHENG H M, ZHAO D L. Seal scheme improvement of wind generator set main bearing[J]. China Heavy Equipment, 2022(2): 31-33.
- [7] 张付英, 张原浩, 高勇新. 旋转轴唇型密封圈的寿命预测研究[J]. 润滑与密封, 2022, 47(2): 96-101.
- ZHANG F Y, ZHANG Y H, GAO Y X. Research on life prediction of rotary shaft lip seal ring[J]. Lubrication Engineering, 2022, 47(2): 96-101.
- [8] 杨林, 林万洲, 胡吉, 等. 浮动唇形橡胶密封圈失效分析[J]. 天然气与石油, 2021, 39(6): 127-131.
- YANG L, LIN W Z, HU J, et al. Analysis on the failure of floating lip rubber seal ring[J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39(6): 127-131.
- [9] 宋正朴. 往复式骨架油封密封性能影响因素的分析研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2018.
- SONG Z P. Analysis and research on factors affecting the sealing performance of reciprocating frame oil seal[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2018.
- [10] 徐起升, 黄乐, 向宇, 等. 不同温度下橡胶油封单位径向力的测试与计算[J]. 橡胶科技, 2018, 16(10): 48-51.
- XU Q S, HUANG L, XIANG Y, et al. Test and calculation of unit radial force of oil seal at different temperatures[J]. Rubber Science and Technology, 2018, 16(10): 48-51.
- [11] 李秀珍, 杨剑飞, 黄乐, 等. 油封弹簧规格的选择及适用性分析[J]. 橡胶工业, 2020, 67(8): 611-614.
- LI X Z, YANG J F, HUANG L, et al. Specification selection and applicability analysis of oil seal spring[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(8): 611-614.
- [12] 李如春. 浅析曲轴的加工方法及加工变形产生的原因与对策[J]. 冶金与材料, 2019, 39(6): 109, 111.
- LI R C. Analysis on processing method of crankshaft and causes and countermeasures of processing deformation[J]. Metallurgy and Materials, 2019, 39(6): 109, 111.
- [13] 李凯峰, 孙首群, 周冰旭. 轴表面粗糙度以及温度对唇形油封密封性能的影响[J]. 流体机械, 2022, 50(3): 26-33, 59.
- LI K F, SUN S Q, ZHOU B X. Effects of shaft surface roughness and temperature on sealing performance of lip oil seal[J]. Fluid Machinery, 2022, 50(3): 26-33, 59.

收稿日期: 2023-01-12

## Technical Status of Rotary Shaft Lip Type Rubber Seal for Automobile

FANG Yani, HAN Zengbo

(Sinotruk Jinan Rubber & Plastic Parts Co., Ltd, Jinan 250300, China)

**Abstract:** The classification, sealing mechanism, structural design, parameter selection and development trend of the rotary shaft lip type rubber seal (referred to as oil seal) for the automobile were summarized. There were many types of the oil seals, including inner skeleton oil seal (type B), exposed skeleton oil seal (type W), assembled oil seal (type Z), inner skeleton oil seal with auxiliary lip (type FB), exposed skeleton oil seal with auxiliary lip (type FW), assembled oil seal with auxiliary lip (type FZ) and hydrodynamic oil seal. The sealing mechanism of oil seal included boundary lubrication theory and surface tension sealing theory. The structural design parameters of the oil seal, such as the inner and outer diameter interference, radial force, follow-up ability and lip contact width, affected its service performance. The surface roughness, machining method, material and hardness of the shaft had great impact on the sealing performance and service life of the oil seal. The research on computer-aided design, computer-aided manufacturing and automatic testing technology of oil seal would be further developed, and the application of new rubber materials in the oil seal compound would be accelerated.

**Key words:** rotary shaft lip type rubber seal; sealing mechanism; sealing performance; structural design