

轴承用O形圈的设计

岳伟 岳新宇

上海宇岳机电有限公司

[摘要]论述了轴承用O形圈的重要性及其设计要点,及O形圈常用橡胶材料的性能、轴承外圈槽的结构、槽的截面积、槽的体积和O形圈截面积和体积的关系,合理的经验参数范围,计算实例及效果。

[关键词]O形圈;橡胶;槽结构;体积;经验计算

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2020.02.2073

电钻、打磨机、小型切割机电动工具,以其轻便、实用得到广泛应用。这类电动工具方便携带、机身包含轴承座孔均采用了轻量化的合金铝材成型,运转部分均安装有轴承,轴承材料为GCr15的高碳铬轴承钢,当电动工具运行一定时间轴承发热后,会将热量传递给机身,因机身合金铝材料的膨胀系数大于GCr15的高碳铬轴承钢的膨胀系数,致机身座孔与轴承外径的间隙变大,使运转的轴承外圈在其机身座孔中产生蠕动、打滑现象,加速磨损致轴承提前失效。为解决这一问题,常用的方法是在轴承外圈外径表面开U形环状槽,且在槽内安装橡胶材质的O形橡胶圈,来减小轴承在合金铝孔中的蠕动、打滑,O形橡胶圈还有减振和降低噪音的效果,延长了轴承及电动工具的寿命得到广泛应用。

1 轴承用O形圈橡胶材质的选择

轴承用O形圈橡胶材质主要有以下几种。

丁腈橡胶(NBR)特点是耐汽油和脂肪烃油类的性能特别好,仅次于聚硫橡胶、丙烯酸酯和氟橡胶,而丁腈橡胶优于其他通用橡胶,其耐热性好、气密性、耐磨及耐水性等均较好,粘结力强。丁腈橡胶的缺点是耐寒及耐臭氧性能较差,强力及弹性较低,耐酸性差,电绝缘性能不好,耐极性溶剂性能也较差。丁腈橡胶使用温度范围: $-30^{\circ}\text{C}\sim+120^{\circ}\text{C}$,拉断伸长率 $\geq 250\%$,丁腈橡胶成本较低应用较普遍,主要用于制造各种耐油制品,如胶管、密封制品等。

氢化丁腈橡胶(HNBR)的特点是机械强度和耐磨性能高,耐热性能优于丁腈橡胶(NBR),其他性能与丁腈橡胶基本一样,氢化丁腈橡胶缺点是价格较高。氢化丁腈橡胶使用的温度范围: $-30^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$,拉断伸长率 $\geq 200\%$,氢化丁腈橡胶主要用于耐油、耐高温的密封制品。

乙丙橡胶(EPM/EPDM)的特点是抗臭氧、耐紫外线、耐天候性和耐老化性能优异。乙丙橡胶的电绝缘性、耐化学性、冲击弹性很好,耐酸碱,比重小,可进行高填充配合。耐极性溶剂酮、脂等,但乙丙橡胶不耐脂肪烃和芳香烃,乙丙橡胶其他物理机械性能略好于天然橡胶。乙丙橡胶缺点是自粘性和到粘性很差,不易粘合。乙丙橡胶使用温度范围: $-50^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$,拉断伸长率 $\geq 200\%$,乙丙橡胶主要用作化工设备衬里、电线电缆包皮、蒸汽胶管、耐热运输带、汽车用橡胶制品及其他工业制品。

丙烯酸酯橡胶(ACM/AEM)的特点是兼有良好的耐热、耐油性能,在含有硫、磷、氯添加剂的润滑油中性能稳定,同时耐老化、耐氧和臭氧、耐紫外线、气密性能优良。丙烯酸酯橡胶缺点是耐寒性差,不耐水,不耐蒸汽及有机和无

机酸、碱,在甲醇、乙二醇、酮酯等水溶性溶液内膨胀严重,同时弹性和耐磨性差,电绝缘性差,加工性能较差。丙烯酸酯橡胶使用温度范围: $-25^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$,拉断伸长率 $\geq 250\%$,丙烯酸酯橡胶可用于橡胶制造耐油、耐热、耐老化的制品,如密封件、胶管、化工衬里等。

氟橡胶(FPM/FKM)的特点是耐高温,耐酸碱,耐油性是橡胶中最好的,抗辐射、耐高真空性能好,电绝缘性、机械性能、耐化学腐蚀、耐臭氧、耐大气老化性能均优良。氟橡胶缺点是加工性能差,价格昂贵、耐寒性能差、弹性、透气性能较低。氟橡胶使用温度范围: $-20^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$,拉断伸长率 $\geq 175\%$,氟橡胶主要用于国防工业制造飞机、火箭上的耐真空、耐高温、耐化学腐蚀的密封材料、胶带或其他零件及汽车工业。

2 轴承用O形圈槽的设计

轴承用O形圈槽设计应注意几点:(1)一般设计为U形圆周环状槽,槽与外圈外径相交处宜设计有小倒角或小圆角。(2)设计1个O形圈槽时,应避开沟道中心上部,且与外圈的防尘槽和沟道保留适当的厚度,避免热处理时防尘槽部分变形,和沟道承受钢球滚动时的载荷,对U形槽产生变形的影响。(3)设计2个O形圈槽时,应与外圈中心素线中心对称分布。(4)如果外圈宽度有限,可适当减小外圈装配倒角的尺寸。(5)O形圈槽的粗糙度不要太光滑,以避免O形圈在槽内蠕动,粗糙度范围在Ra1.6~Ra2.5之间即可。

3 轴承用O形圈的设计

O形圈设计应满足几个条件:(1)安装后的O形圈截面积应小于U形圈槽的截面积,前者比后者百分比约为90%~96%。

(2)安装后O形圈的体积要小于U形圈槽的体积,前者比后者百分比约为82%~92%。为简化设计计算,提出1个假设,在O形圈拉伸变形不大时,安装在O形圈槽里的O形圈变形到槽里后,其截面积不变。(3)适当的压缩比例,即O形圈高出槽的部分与槽的深度比例约为20%~35%。

O形圈在轴承外圈槽内的理论状态见图1,O形圈安装在轴承O形圈槽且轴承安装在轴承座孔后的实际状态见图2,设计的O形圈形状见图3。

O形圈设计中的参数符号定义如下,未特殊说明参数符号的单位是mm:

D: 轴承外圈外径

D1: U形圈槽底径

W: U形槽宽度

H: U形槽深度

r: U形圈槽底部圆角半径
 do1: O形圈安装后的直径
 Do1: O形圈安装后的中心径
 do: O形圈设计的直径
 Do: O形圈设计的中心径

O形圈设计是通过预先设计出安装后的O形圈直径、O形圈中心径, 在满足其截面小于U形槽的截面积, 和体积小于U形槽的体积, 且比例适中, 伸长率适中, 再倒推出需要原始设计的O形圈直径和中心径的。因原始设计O形圈和安装后的体积不变, 按两者相同的体积, 而进行相应的计算。

O形圈槽设计的公式如下:

$$U形槽截面积 S_u = S_u = (D - D1) * W / 2 - \pi * r^2 \quad (1)$$

$$U形槽体积 V_u = \frac{\pi}{2} (D^2 - D1^2) * W - \frac{\pi * r^2}{2} * [4(D1+r) - \pi(D1+2r)] \quad (2)$$

安装后的O形圈计的公式如下:

$$安装后的O形圈截面积 S_o1 = \frac{\pi}{4} * do1^2 \quad (3)$$

安装后的O形圈截面积So1与U形槽截面积比S'

$$S' = S_o1 / S_u = \frac{\pi}{4} * do1^2 / [(D - D1) * W / 2 - \pi * r^2] \quad (4)$$

$$安装后的O形圈体积 V_o1 = \frac{Do1}{4} * \pi^2 * do1^2 \quad (5)$$

安装后的O形圈体积Vo1与U形槽体积比V'

$$V' = V_o1 / V_u = \frac{Do1}{4} * \pi^2 * do1^2 / \left\{ \frac{\pi}{2} (D^2 - D1^2) * W - \frac{\pi * r^2}{2} * [4(D1+r) - \pi(D1+2r)] \right\} \quad (6)$$

$$安装后O形圈的压缩比 k = (D_o1 - H) / H * 100\% \quad (7)$$

安装前设计的O形圈计的公式如下:

$$安装前设计的O形圈截面积 S_o = \frac{\pi}{4} * do^2 \quad (8)$$

$$安装前设计的O形圈体积 V_o = \frac{Do}{4} * \pi^2 * do^2 \quad (9)$$

确定设计的O形圈直径do后, 安装前和安装后的O形圈的体积不变, 则可计算出安装前设计的O形圈中心径Do。

$$V_o = V_o1$$

$$\frac{Do}{4} * \pi^2 * do^2 = \frac{Do1}{4} * \pi^2 * do1^2$$

$$Do = Do1 * \frac{do1^2}{do^2} \quad (10)$$

$$O形圈安装后的伸长率 n = \frac{Do1}{Do} * 100\% \quad (11)$$

4 轴承用O形圈设计实例

有6301轴承, 轴承外圈外径为D=37, 外圈宽度为12, 外圈最大轴向倒角尺寸为3, 防尘槽轴向深度为1.35, 轴承温度在-20°C~+80°C的范围内, 设计O形圈并选择O形圈橡胶材质。

根据轴承技术条件选择丁腈橡胶NBR制作O形圈。设计U形槽宽度=1.65, U形槽底径=35.1, U形圈槽底部圆角半径r=0.4。

O形圈设计计算过程如下:

$$U形槽的截面积 S_u = (D - D1) * W / 2 - \pi * r^2$$

$$S_u = (37 - 35.1) * 1.65 / 2 - 3.14 * 0.4^2 = 1.32 \text{ mm}^2$$

$$U形槽体积 V_u = \frac{\pi}{2} (D^2 - D1^2) * W - \frac{\pi * r^2}{2} * [4(D1+r) - \pi(D1+2r)]$$

$$V_u = \frac{3.14}{2} (37^2 - 35.1^2) * 1.65 - \frac{3.14 * 0.4^2}{2} * [4(35.1+0.4) - 3.14(35.1+2*0.4)]$$

$$V_u = 170.18 \text{ mm}^3$$

设安装后O形圈的理论直径 do1=1.26,

安装后O形圈理论中心径Do1=D1+do1=35.1+1.26=36.36,

安装后O形圈理论外径为Do2=Do1+do1=36.36+1.26=37.62>37, 则实际O形圈外径将被压扁到37内。

O形圈槽的深度: H= (D-D1) / 2= (37-35.1) / 2=0.95

O形圈在槽内的压缩比k= (Do1-H) / H * 100% = (1.26-0.95) / 0.95 * 100%=33%, 符合20%~35%的范围。

$$安装后O形圈的截面积 S_o1 = \frac{\pi}{4} * do1^2 = \frac{3.14}{4} * 1.26^2 = 1.25 \text{ mm}^2$$

安装后O形圈的截面积So1/U形槽的截面积Su

So1/Su=1.25/1.32*100%=95%, 符合经验范围90%~96%。

$$安装后O形圈的体积 V_o1 = \frac{Do1}{4} * \pi^2 * do1^2 = \frac{36.36}{4} * 3.14^2 * 1.26^2 = 142.43 \text{ mm}^3$$

安装后O形圈的体积Vo1/U形槽的体积Vu

Vo1/Vu=142.43/170.18*100%=84%, 符合经验范围82%~92%。

设安装前设安装后O形圈的直径 do=1.3, 根据安装前后O形圈的体积不变的原则, 可计算出安装前的O形圈的中心径Do。

$$V_o1 = V_o$$

$$\frac{Do1}{4} * \pi^2 * do1^2 = \frac{Do}{4} * \pi^2 * do^2$$

$$Do = \frac{Do1}{4} * \pi^2 * do1^2 = \frac{Do1}{4} * \pi^2 * do^2 = \frac{36.36}{4} * 3.14^2 * 1.26^2 = 34.16 \text{ mm}$$

O形圈安装后的伸长率

$$n = \frac{Do1}{Do} * 100\% = \frac{36.36}{34.16} * 100\% = 106\% < 250\% \text{ 拉伸伸长率, 即伸长率}$$

安全。

参考文献

[1] JB/T 6639-2015 滚动轴承 骨架式橡胶密封圈 技术条件;
 [2] GB/T 3452.3-2005 液压气动用O形橡胶密封圈 沟槽尺寸;
 [3] GB/T 3452.1-2005 液压气动用O形圈橡胶密封圈 第1部分: 尺寸系列及公差;
 [4] O形圈密封结构设计---Johnson Controls 李强
 [5] O形密封圈概述---上海海斐密封件有限公司