

液压系统橡胶密封件的失效典型案例分析

张继华 任 灵

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 从橡胶密封件的密封原理出发,分析了由于密封结构形式选择不当、结构设计不合理和密封材料使用不当造成的密封失效案例。结果表明,液压系统的密封失效原因是复杂的,需结合设计和材料,才能解决各种密封失效问题,提高橡胶密封的可靠性。

关键词 密封,失效,橡胶

Analysis of Typical Cases on Failures of Rubber Sealing Products in Hydraulic-Pressure System

Zhang Jihua Ren Ling

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract From the point of sealing principle of rubber parts, some cases about the sealing failures, such as improper selection of structure formation, unreasonable design of structure and incorrect use of sealing materials were analyzed. The results showed that the reasons of sealing failure were complex. The problems of sealing failure can be solved by combining design and material to improve the reliability of rubber sealing products.

Key words Seal, Failure, Rubber

1 前言

橡胶具有高的弹性和抗压变性能,可以有效阻止压力介质的泄漏,因而广泛使用在液压系统的静、动密封环境中。在航天、石油化工等高新技术领域,由于涉及的使用环境较苛刻(如高低温、压力工作介质等),为保证其仪器、仪表和工程设备等液压系统内介质的低(无)泄露,大量的工作已经集中在密封件和密封结构的设计与开发上^[1~3]。然而,橡胶密封应用涉及到流体力学、摩擦学、油膜及润滑理论,高分子材料,黏弹性力学,机械加工、传热学等许多学科,工程技术人员往往由于设计或材料的使用不当,遇到密封失效问题,因此提高橡胶密封的可靠性成为人们关注的焦点^[4~10]。

本文通过应用实践,介绍工程产品橡胶密封失效的一些典型案例,旨在提供一些研究复杂密封失效的方法,为今后工程中提高密封技术的可靠使用和设计提供参考。

2 密封应用及失效案例分析

通常的密封失效原因包括密封系统的设计不合理、密封件的安装和成型不合理以及使用工况不合适等。在密封系统设计不合理方面主要包括密封偶件的表面质量,密封沟槽、密封间隙问题和背压效应等;密封件的安装和成型不合理问题包括密封件的质量、扭曲效应和颗粒磨损效应等;而密封件的使用工况则涵盖了气蚀现象、迪塞尔效应、焦耳热效应等^[2~5]。

2.1 密封件的结构形式选择不当

在油箱液压系统调试过程中,发现油箱排气孔喷油雾,判断密封失效。测量安装沟槽的同心度和尺寸发现符合图纸要求,而且密封件安装中充分涂拭润滑油,避免可能的初始安装扭曲,故判断为橡胶密封件故障。对密封件库存件检测,尺寸符合图纸要求。但肉眼观察,拆下的密封件粗细不均,部分分模面转到工作面上,初定失效原因为密封件扭曲。图1为故障件的显微镜照片。由图1可知,在远离接触部分圆周

收稿日期:2008-10-08; 修回日期:2009-01-19

作者简介:张继华,1978年出生,博士,主要从事橡胶材料和产品的开发工作。E-mail:zjhicca@iccas.ac.cn

方向有磨痕。该磨痕为典型滚动疲劳磨损,磨痕平行于圆周方向而且间隔较宽[图 1(a)],磨痕表面有大量的微裂纹[图 1(b)]。因此,确定密封件的扭曲损伤为失效原因。为解决该问题,在设计不变的条件下,采用 X 型密封件代替原先的 O 型密封件。由于 X 型密封件断面呈 X 形,结构上有四个圆形凸起,压

缩量较小(可近似看成两个 O 型圈的双层密封),且摩擦阻力远小于 O 型圈,因此不易发生扭滚损伤。应用表明,成功解决该液压机构的密封失效问题。同样,应用 X 型密封件,在相同结构形式的油箱蓄压器活塞和作动器连动杆的动密封均取得良好的效果。

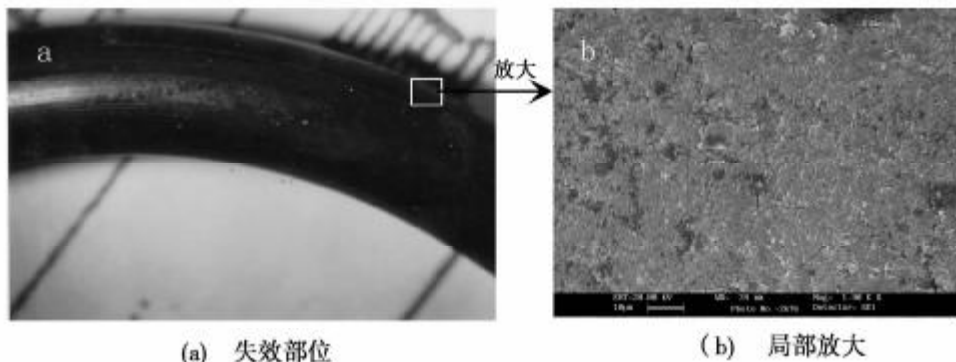


图 1 密封圈的扭滚失效表面形貌

Fig. 1 Optical photos of surface topography of sealer after distortion failure

2.2 密封结构设计不合理

在某液压系统的密封皮碗应用中发现有大量的工作介质从密封结构中泄漏,密封完全失效。将密封皮碗取下后,外观无明显变化,但在阳光下观察到有一折痕,因此断定为密封设计不合理造成皮碗翻边失效。图 2 为在相同条件下,密封皮碗和 O 型圈的泄漏量、摩擦力和液压系统活塞往复运动速度的关系曲线。

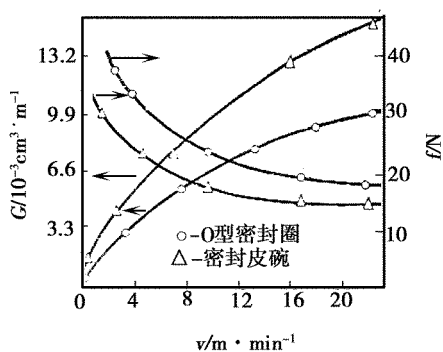


图 2 摩擦力 f 和泄漏量 G 与往复运动速度 v 之间的关系

Fig. 2 Plots of friction force f and leaks G vs reciprocating speed v

由图 2 可知,在相同的密封结构形式下,密封皮碗与 O 型密封圈相比,具有磨损量小,泄漏量却较大的特点。由于密封皮碗形状复杂,在工作面上的接触应力分布关系无法预测,而不充足的压缩应力会造成工作介质的泄漏量增大,同时增加间隙的局部工作压力,改变密封皮碗表面的接触应力分布;密封皮碗的

唇型工作部分相对较薄弱,会沿着工作压力方向发生翻边,导致密封失效^[6]。因此采用增加压缩量的密封结构设计方法,并通过配方调试,换用高弹性模量和物理松弛时间较长的橡胶材料压制密封件后,解决失效问题。应用表明,密封泄露减少,满足要求。

2.3 密封材料使用不当

在液压系统油箱工作测试时,发现排气孔少量漏油。图 3 为该机构局部的油箱组件,活塞杆 2 沿密封系统轴向往复运动。通过过滤的方法,排除颗粒磨损造成的密封泄漏。在排除液压系统的油箱积油漏出、O 型圈和胶囊密封失效后,确定密封失效位置在 X 型密封圈及其密封结构上。取下密封件测量,发现尺寸均符合图纸要求,并复验密封圈常规性能,认定满足指标要求。进而,采用显微镜观测密封圈外观(图 4),可见一定数量的小凹坑存在。然而,采用对比试验的方法,验证密封件表面的小凹坑不是导致漏油的直接原因。在进一步试验中发现,如果将失效的密封圈接触面反向安装后重新装入密封机构,则密封故障消失。故将密封失效归因于密封圈及其放置时间上。

将密封圈在工作介质中放置一段时间后,发现尺寸减小。将密封圈放置高温工作介质浸泡,密封圈增重、体积膨胀;而再将其常温干燥后,密封圈则减重、体积收缩。此外,对比浸泡前后,发现胶料有成分被抽提。将浸泡胶料后的工作介质进行红外光谱分析后,发现增加酯类物质特征峰,认为橡胶密封件内部的酯类增塑剂被工作介质抽提,并推测为密封圈表面

产生小凹坑的原因。综合密封结构和密封件在工作介质中的作用,确定密封失效原因为液压系统运行初期,密封圈正反两面接触介质不同(一面是工作介质,另一面是空气),停放时间较久后,收缩不均引起密封件表面的应力不均,导致工作介质局部泄漏。调整密封件橡胶胶料配方,重新压制密封件,改善在介质中的收缩率后,密封件满足使用要求。

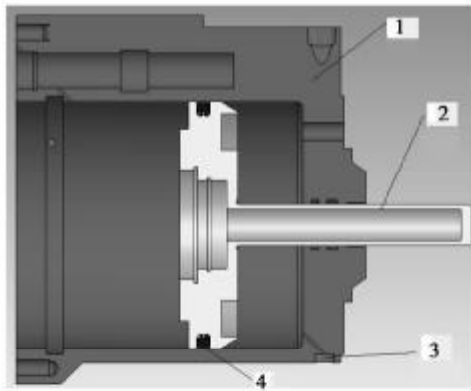


图3 液压系统油箱组件示意图

Fig. 3 Schematic of parts in gasoline tank of liquid-pressure system

1—油箱壳体;2—油箱活塞;3—排气孔;4—X型密封圈。

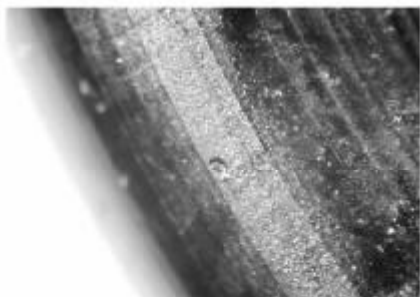


图4 表面有小凹坑的X型圈形貌

Fig. 4 Surface topography of X-shaped ring with microgrooves

(1)采用X型圈代替O型圈,减少了密封件在密封结构中的摩擦,避免了密封件的扭曲失效。

(2)增加密封设计的压缩量,使用高弹性模量和物理松弛时间长的密封件,可解决复杂的密封皮碗失效问题。

(3)对于同时密封不同介质的液压橡胶密封系统,调整密封件胶料配方,改善在介质收缩率不同中引起的应力不均,可解决失效问题。

(4)液压系统的密封失效是复杂和多样的。因此,必须从密封设计,密封材料的使用与实际安装的工况条件等出发,确立合理的密封结构和制品,才能提高液压系统密封系统的可靠性。

参考文献

- 1 王隽. 船舶艉轴密封装置O形橡胶密封圈失效分析. 润滑与密封,2007;32(4):163~166
- 2 王惠娟. 液压系统中的密封失效原因及国产液压密封水平分析. 排灌机械,2005;23(6):42~45
- 3 徐光华. O形密封圈的失效原因及防止措施. 科技资讯,2007;17:22
- 4 陈戈平. 关于橡胶密封件密封失效的探讨. 工程机械,1997;(7):26~28
- 5 任全彬,蔡体敏,王荣桥等. 橡胶“O”形密封圈结构参数和失效准则研究. 固体火箭技术,2006;29(1):9~14
- 6 6. X. 阿弗鲁辛科. 橡胶密封. 北京:机械工业出版社,1983:1~50
- 7 吴国庭. 密封材料空间环境失效分析. 中国空间科学技术,1997;(6):40~44
- 8 陈健,王昌明,柳光辽. 不同密封材料在高压动密封中的研究. 南京理工大学学报,2000;24(2):105~108
- 9 李洪. 液压传动的密封失效分析. 机械工程与自动化,2005;(6):109~111
- 10 苏令,刘向锋,刘莹. 浅槽环瓣型浮动环密封的动态特性分析. 润滑与密封,2007;32(1):105~110

3 结论

(编辑 任涛)