

O 形橡胶密封圈泄漏问题的原因分析及预防措施

徐金鹏, 胡荣霞

(南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106)

摘要:结合科研生产中遇到的实际问题, 分析 O 形橡胶密封圈出现泄漏的原因, 主要包括密封结构设计、胶料选用、密封圈安装和加工质量等。介绍两起密封圈失效故障案例及处理方法, 并提出了预防 O 形橡胶密封圈泄漏的几点建议。

关键词:O 形橡胶密封圈; 泄漏; 失效; 预防

中图分类号:TB42;TQ336.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)11-0677-05

O 形橡胶密封圈具有密封性能好、生产工艺简单、装拆方便及成本低等优点, 在飞机上得到了广泛的应用, 对飞机各系统的密封性能起着重要作用, 直接影响飞机的安全。统计数据显示, 飞机发生的机械故障中液压系统故障率最高, 其次是燃油系统^[1]。其中, 许多故障是由于 O 形橡胶密封圈失效引起的泄漏问题。这些问题主要是由于密封结构设计、胶料选用、装配不当等因素引起的。

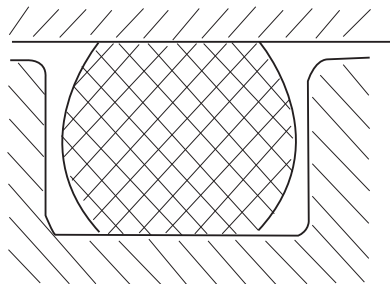
本文结合科研生产中遇到的实际问题, 对 O 形橡胶密封圈泄漏问题进行分析和总结, 提出预防 O 形橡胶密封圈泄漏的建议。

1 密封圈失效原因分析

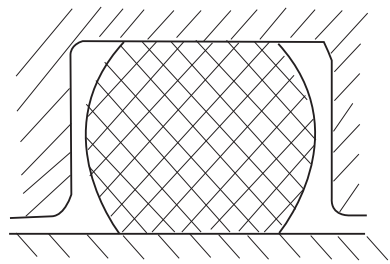
O 形橡胶密封圈使用部位出现泄漏问题, 大致可以从密封结构设计、胶料选用、胶圈安装、胶圈加工质量和贮存等方面查找原因。发生泄漏后, 详细记录出现的故障状况。在对故障部位进行拆卸时, 可采用拍照的方式记录拆卸的过程及步骤, 并对拆卸后 O 形橡胶密封圈的状态及形貌作记录和拍照留存, 以备后续分析使用。

1.1 设计问题

以径向密封形式为研究对象, 径向密封分为轴沟槽密封和孔沟槽密封两种形式, 如图 1 所示。



(a)轴沟槽密封



(b)孔沟槽密封

图 1 径向密封形式

1.1.1 拉伸率和压缩率的选择

O 形橡胶密封圈装入密封沟槽后, 一般都有一定的拉伸率。拉伸率的选取对 O 形橡胶密封圈的密封性能和使用寿命有很大的影响。拉伸率过大不但会导致 O 形橡胶密封圈安装困难, 同时也会因截面直径发生变化而使压缩率降低, 引起泄漏问题。拉伸率(α , 取值范围为 1.03~1.05)按下式计算:

$$\alpha = \frac{d_1 + d}{D + d} \quad (1)$$

式中 d_1 ——O 形橡胶密封圈内圈接触圆截面的

作者简介:徐金鹏(1981—), 男, 山东德州人, 南京机电液压工程研究中心工程师, 学士, 主要从事非金属材料的应用与管理工

公称直径,mm;

d ——O 形橡胶密封圈截面公称直径,mm;

D ——O 形橡胶密封圈公称内径,mm。

O 形橡胶密封圈在拉伸变形后,径向方向的截面直径减小,呈椭圆形。压缩率(Y)由下式计算:

$$Y=\frac{b-h}{b}\cdot 100\% \tag{2}$$

式中 b ——椭圆截面的短轴长度,mm;

h ——O 形橡胶密封圈槽底与被密封表面的距离,即 O 形橡胶密封圈压缩后的截面高度,mm。

式(2)中 $b=d\sqrt{\frac{1.35}{\alpha}-0.35}$ 。最小压缩率($Y_{\min}$)的计算公式如下:

$$Y_{\min}=\frac{b_{\min}-h_{\max}}{b_{\min}}\cdot 100\% \tag{3}$$

式(2)和(3)中 Y 和 $Y_{\min}$ 的取值范围见表 1。

表 1 O 形橡胶密封圈 Y 和 $Y_{\min}$ 的取值范围 %

项 目	密封类型	
	内部活动密封	固定密封和外部活动密封
Y	12~17	18~22
$Y_{\min}$	7	11

1.1.2 密封槽的设计

密封槽的设计要素主要包括槽宽、表面粗糙度、圆角半径等。密封槽的宽度非常重要,太宽会增大密封的空行程,太窄会产生较大的摩擦力,也可能使密封圈材料挤入间隙,给装配增加难度。槽宽(B)的计算公式如下:

$$B=Kd \tag{4}$$

式(4)中 K 为槽宽因数。对于内部活动密封, K 的取值范围一般为 1.10~1.15;对于外部活动密封和固定密封, K 的取值范围一般为 1.15~1.25。

密封槽的表面粗糙度对密封圈的使用寿命影响较大。对于活动密封,表面粗糙度一般为 Ra0.8;对于固定密封,表面粗糙度一般为 Ra1.6。

密封槽的圆角半径分为槽棱圆角半径和槽底圆角半径。槽棱圆角是为了防止密封圈装配时刮伤而设计的,其半径一般不大于 0.2 mm;槽底圆

角主要是为了避免该处产生应力集中而设计的,其半径一般选取 0.3~0.7 mm。

1.2 胶料选择问题

胶料的选择需要考虑 O 形橡胶密封圈的密封形式、工作温度、介质、压力等因素。胶料若选用不当,会造成 O 形橡胶密封圈的快速失效。如胶圈材料与介质不相容会引起胶圈膨胀或者组分析出等变质反应;胶圈材料不耐低温会引起胶圈硬化、收缩导致泄漏问题;胶圈使用压力过高会造成胶圈间隙咬伤等。

在低于 100 ℃ 的空气、真空和电场条件下可选择天然橡胶、丁苯橡胶或顺丁橡胶为主体材料。工作环境温度低于 150 ℃ 时选择乙丙橡胶,高于 200 ℃ 时选择硅橡胶和氟橡胶。在接触石油基油料时,低于 130 ℃ 可选丁腈橡胶;接触油蒸气选氯丁橡胶,低于 230 ℃ 选用氟硅橡胶,250 ℃ 选用氟橡胶。在接触磷酸酯液压油时,可选择乙丙橡胶、丁基橡胶或硅橡胶。工作介质压力低于 10 MPa 时选择邵尔 A 型硬度为 60 度的胶料,压力为 15 MPa 选择邵尔 A 型硬度为 70 度的胶料,压力高于 21 MPa 以上选择邵尔 A 型硬度为 80 度的胶料。活动 O 形橡胶密封圈胶料的拉伸强度不应低于 10 MPa,固定 O 形橡胶密封圈的拉伸强度可低些。乙丙橡胶、硅橡胶、氟硅橡胶、氟橡胶具有优异的耐候性能,使用寿命和贮存寿命较长^[2]。

1.3 安装问题

O 形橡胶密封圈的安装质量对其密封性能和使用寿命均有重要的影响,有些泄漏问题是因为安装不当造成的。安装过程中不允许出现 O 形橡胶密封圈被划伤、安装位置不正、密封圈被扭曲等情况。O 形橡胶密封圈安装应注意下述几点问题。

(1)装配前,密封沟槽、密封耦合面必须严格清洗。

(2)检查密封圈安装有无方向性,避免反装。

(3)保持 O 形橡胶密封圈清洁,不能附有毛丝、灰尘等。

(4)安装 O 形橡胶密封圈的工 具,无尖端、刃口,以免损伤 O 形橡胶密封圈^[3]。

(5)必要时,可对 O 形橡胶密封圈装配中接触的表面涂覆润滑脂。

1.4 加工质量问题

O 形橡胶密封圈的主要生产工艺流程为:混炼→滤胶→返炼→硫化→检验。在每个工序中出现工艺参数选择不当、生产过程控制不严格,都会加工出质量不合格的密封圈,造成 O 形橡胶密封圈出现泄漏问题。

1.4.1 混炼

混炼前,认真检查配合剂中是否有杂质、杂物,检查生胶、配合剂的种类是否与配方相符。开车前,检查两辊之间和挡板内外是否有异物和余胶。应从小牙轮一端投料,且不间断。加料顺序按混炼工艺流程执行。采用开炼机混炼时,辊温一般控制为 50~60℃,混炼时间一般为 20~30 min,辊筒转速一般控制为 16~18 r·min⁻¹[4]。胶片冷却后应风冷晾干;需滤胶的胶片,在卡片上注明“过滤”两字,以示区别。

混炼胶的物理性能指标应符合检验标准要求,无焦烧现象、无杂质、混炼均匀,胶号清楚。

1.4.2 滤胶

检查设备正常后,通入蒸汽,加热至规定温度,用温度计检测供胶温度和口型温度。滤网更换次数视杂质多少而定,严禁破网滤胶。滤出的胶料及时清除,防止积胶过多[5]。

经过滤的胶料应清洁、无杂质、无烧焦现象。

1.4.3 返炼

各橡胶材料使用厂家一般是按照橡胶牌号和条件来购买橡胶材料的,购买的胶料通常皆为混炼胶。也就是说,混炼和滤胶工序都是在胶料生产厂家进行,各胶料使用厂家只需要将混炼胶进行返炼和硫化即可加工为成品。

领取 O 形橡胶密封圈所需牌号的混炼胶后,应检查胶料有无合格证和是否在保证贮存期内,若过期,需送检合格后才能使用。

用在航空汽油中浸泡后的绸布抹去炼胶机辊筒上的灰尘和油污,将辊筒辊距调大后,将胶料置于辊筒间按不同方向进行返炼 3~5 min,逐渐缩小辊筒辊距至 0.5~1 mm,并在小辊距下薄通 3~5 次,然后调整辊距,使得胶料出片厚度达到毛坯要求。混炼胶返炼质量直接影响硫化制品的质量,若在小辊距下反复薄通仍有胶粒、胶疙瘩出现或呈豆腐渣样,说明胶料已经焦烧不能继续使用。

1.4.4 硫化

领取硫化压模后,现场检查模具情况,并在使用前用在航空汽油中浸泡后的绸布清洗至干净。

严格按照胶料的硫化条件进行硫化,每班检验人员对平板硫化机的温度、压力、时间随机抽查一次,做好原始记录。

严格控制硫化工艺过程,避免出现欠硫、过硫等问题。

1.4.5 检验

(1)外观检验。100%进行外观检验,采用目视检查法,必要时可借助放大镜,但放大镜以不超过 5 倍为宜。零件工作面应光滑平整,不应有气泡、孔眼、杂质、凹凸、划伤、毛刺及模型加工不良的痕迹。零件非工作面允许有模型轻微磨损或加工不良的痕迹。

(2)尺寸检验。采用抽检方法,同批数量不小于 50 件时按 10%抽检,数量不足 50 件时则 100%检查,检验要求按图纸或工艺规定进行。检查量具精度应当在 0.02 mm 以上。

1.5 贮存问题

胶圈的贮存应符合下列条件:贮存间温度为 0~28℃,相对湿度不大于 80%,避免阳光直射和使用具有高紫外线的光源,距热源 1 m 以上,距地面和墙壁 0.3 m 以上,贮存间内不得存放油类、酸、碱、溶剂和其他对橡胶有害的物质。

杜绝因贮存不当产生的胶圈质量问题,如保存时间过长导致胶圈老化,受光线、潮气等因素影响使胶圈性能受损等。

2 O 形橡胶密封圈失效故障实例及处理

在工作过程中经常会遇到 O 形橡胶密封圈泄漏问题,特别是低温泄漏问题。下面介绍两个在实际生产过程中出现的案例。

2.1 不同种类混滑

某产品在低温试验中出现漏油现象。该产品每个密封单元里使用了两个 O 形橡胶密封圈,分别记为 A 胶圈和 B 胶圈。A 胶圈使用温度范围为 -40~+250℃,适用于产品在高温下的密封;

B胶圈使用温度范围为-60~+150℃,适用于产品在低温下的密封。两种胶圈的尺寸相同,内圈直径均为6.2 mm,截面直径均为1.9 mm,皆为黑色。产品进行分解检查,零件与胶圈表面均未见明显划伤痕迹。分析人员先后对零件和胶圈的尺寸等相关参数进行计量,对胶圈压缩率进行核算,对胶圈使用的胶料合格证及硫化过程原始记录进行了检查,均未发现问题。最后分析人员怀疑胶圈是否被混淆,经红外分析胶圈材质,最终确定在泄漏的一个密封单元使用的两个胶圈皆为A胶圈,因此才会造成在低温(-60℃左右)试验中失效。胶圈被混淆的主要原因是装配过程中人为造成,但是两种胶圈尺寸一致、颜色相同、硬度接近,极易造成混淆,而且一旦混淆就无法区分开来。因此,设计人员进行了防差错设计,将A胶圈的颜色从黑色改为红色,从而杜绝了上述问题的重现。

2.2 尺寸超差

某产品在低温试验中同样出现漏油现象。产品漏油部位的密封结构,如图2和3所示。

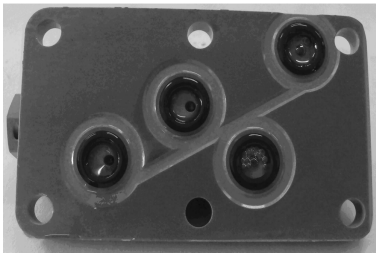


图2 O形橡胶密封圈安装情况示意

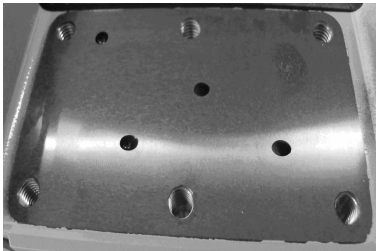


图3 配合零件示意

某部件安装面共有4个相同型号的O形橡胶密封圈,胶圈内圈直径为4.2 mm,截面直径为1.5 mm,其中的任何一个密封部位出现泄漏,产品都会出现漏油现象。产品分解后发现密封圈完好无损,然后将密封圈和相关配合零件进行检查

计量。计量结果为配合零件表面没有尺寸超差,O形橡胶密封圈的尺寸如表2所示。

表2 O形橡胶密封圈尺寸

项 目	密封圈编号			
	1#	2#	3#	4#
<i>D</i> /mm ¹⁾	4.052~4.138	4.140~4.167	4.122~4.126	4.050~4.097
<i>d</i> /mm ²⁾	1.485	1.491	1.386	1.490
常温压缩率/%	23.6	23.5	18.0	24.0
低温压缩率/%	22.7	22.6	16.9	22.8

注:1)*D*值设计范围为4.0~4.2 mm;2)*d*值设计范围为1.45~1.60 mm。

从表2可以看出,3#O形橡胶密封圈轴向截面直径为1.386 mm,比其他密封圈小0.1 mm,已经超差0.064 mm,低温下压缩率为16.9%,明显偏低。因此,可以判定漏油现象是由于3#O形橡胶密封圈尺寸超差所导致。

3 预防措施

为了避免O形橡胶密封圈在使用过程中出现泄漏现象,在胶圈的设计、生产、使用过程中应规范设计、加强过程控制。

- (1)综合考虑工作温度、介质、压力等因素,选用合适的胶料。
- (2)选用适当的拉伸率、压缩率及密封槽尺寸。
- (3)确保密封面的加工质量。
- (4)严格控制胶料的贮存、生产过程。
- (5)采用科学的安装方法。

参考文献:

[1] 窦志伟,李俊昇.某型飞机用O形密封圈工艺稳定性研究[J].航空标准化与质量,2008(4):29-33.

[2] 颜鸣皋,刘伯操,李金桂,等.中国航空材料手册[M].北京:中国标准出版社,2002:7.

[3] 黄迷梅.液气压气动密封与泄漏防治[M].北京:机械工业出版社,2003:165.

[4] 王艳秋.橡胶塑炼与混炼[M].北京:化学工业出版社,2006:139-140.

[5] 刘印文,刘振华,刘涌.橡胶密封制品实用加工技术[M].北京:化学工业出版社,2002:226.

Root Cause Analysis of Leakage of Rubber O-Ring Seal and Corrective Actions

XU Jin-peng, HU Rong-xia

(Nanjing Engineering Institute of Aircraft Systems, Nanjing 211106, China)

Abstract: The root causes for the leakage of rubber O-ring seal were analyzed based on the practical cases in the research and application. The design of sealing structure, rubber material, seal setting and O-ring quality were investigated. Two cases of O-ring leakage and the improvement plan were introduced. Several suggestions for preventing rubber O-ring leakage failure were then provided.

Key words: rubber O-ring seal; leakage; failure; precaution

一种芳烃橡胶油的制备方法

中图分类号: TQ330.38⁺7 文献标志码: D

由中国石油化工股份有限公司和中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院申请的专利(公开号 CN 102140369A, 公开日期 2011-08-03)“一种芳烃橡胶油的制备方法”, 提供了一种芳烃橡胶油的制备方法, 即将原料油和第 1 抽提溶剂在第 1 抽提塔中接触, 在第 1 抽提塔的抽出液中注入反溶剂后送到第 2 抽提塔作为第 2 抽提塔原料, 与第 2 抽提溶剂在第 2 抽提塔中接触, 从第 2 抽提塔的抽余液中分离出第 2 抽提塔精制油; 第 1 抽提溶剂含有主溶剂, 第 2 抽提溶剂含有主溶剂和反溶剂, 主溶剂对芳烃的溶解性大于对烷烃的溶解性。采用该方法制得的芳烃橡胶油的苯并芘含量低, 稠环芳烃(PAHs)总含量低, 满足欧盟 2005/69/EC 指令要求, 多环芳烃质量分数小于 0.03。

(本刊编辑部 赵 敏)

与氟树脂或氟橡胶粘接的丁腈橡胶及作为燃油管的应用

中图分类号: TQ333.7; TQ336.3 文献标志码: D

由天津鹏翎胶管股份有限公司申请的专利(公开号 CN 102146173A, 公开日期 2011-08-10)“与氟树脂或氟橡胶粘接的丁腈橡胶及作为燃油管的应用”, 涉及与氟树脂或氟橡胶粘接的丁腈橡胶(NBR)配方为: NBR 100, 液体 NBR 5~

20, 炭黑 N550 20~50, 炭黑 N330 20~50, 白炭黑 10~20, 氧化镁 3~10, 氢氧化钙 3~10, 硬脂酸 1~3, 防老剂 RD 1~2, 防老剂 NBC 0.5~1, 古马隆树脂 2~5, 粘合剂 Rico-bond 2031 3~10, 增塑剂 TOTM 5~20, 硫黄 0.3~1.5, 促进剂 CZ 1~2, 促进剂 TMTD 1~2。该 NBR 可用来替代氯醚橡胶和乙烯丙烯酸酯橡胶生产汽车胶管, 同时可以降低材料成本。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种透明脱醇型单组分室温硫化硅橡胶的制备方法

中图分类号: TQ333.93 文献标志码: D

由广州市高士实业有限公司和仲恺农业工程学院申请的专利(公开号 CN 102146208A, 公开日期 2011-08-10)“一种透明脱醇型单组分室温硫化硅橡胶的制备方法”, 提供了一种透明脱醇型单组分室温硫化硅橡胶的制备方法, 即常温下将 α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷(80~90 份)与白炭黑(1~15 份)和烷烃混合物增塑剂(5~10 份)在搅拌机中真空搅拌, 然后加入硅氧烷交联剂(1~5 份), 真空搅拌, 再加入钛酸硅氧烷酯催化剂(0.01~2 份)、有机锡类催化剂(0.01~3 份)和硅烷偶联剂(0.01~5 份), 真空搅拌, 出料、包装。该发明在保持催化效率的基础上, 可有效防止胶料黄化, 同时有效解决了胶料贮存期短的问题。

(本刊编辑部 赵 敏)