

丁腈橡胶密封圈耐15号液压油性能研究

代晓瑛,雷兴平,卢玉蛟

[航空工业西安飞机工业(集团)有限责任公司,陕西 西安 710089]

摘要:飞机起落架作动筒中常采用丁腈橡胶(NBR)密封圈,NBR密封圈的质量对密封效果影响较大,关系到飞机起落架正常收放和飞行安全。本工作模拟NBR密封圈在飞机起落架作动筒中的实际应用状态,对密封圈在15号液压油中进行了分段浸油、施压浸油以及浸油后晾置试验。结果表明:在这3种试验条件下,密封圈经过液压油浸泡后,其内径、外径、截面尺寸增大,硬度减小;密封圈从液压油中取出后,随着晾置时间的延长,其内径、外径和截面尺寸逐渐减小,硬度逐渐增大。在实际应用中,密封圈在安装前应先在液压油中按照要求浸泡至规定时间,然后在2 d内安装至飞机起落架活塞密封槽中,可避免密封圈对作动筒内壁的压力引起的偏转。

关键词:丁腈橡胶;密封圈;耐油性;性能;内径;外径;截面;硬度

中图分类号:TQ333.7;TQ336.4⁺2

文章编号:2095-5448(2019)06-0344-04

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2019.06.0344

牌号为试5171的丁腈橡胶(以下简称NBR5171)由于具有较好的耐油性能,在航空领域常用于制造耐油O形密封圈。密封圈失效大多是由于密封圈长期浸泡在液压油中发生了溶胀,体积增大,且随着浸泡时间的延长,体积增长率越来越大,从而在橡胶制品往复运动中产生裂纹^[1-3]。在NBR5171密封圈验收试验及随炉试验中,按照相应规范要求需进行耐介质试验以考察密封圈的质量变化和体积变化,很少考察密封圈尺寸(内径、外径和截面)及硬度变化,但密封圈尺寸变化及硬度变化对产品实际应用影响很大,甚至会造成密封失效、漏油。

飞机起落架作动筒常采用NBR密封圈进行密封,如果密封圈装配与拆卸方法不合理,不仅会降低密封圈可靠性,缩短密封圈使用寿命,甚至会影响整个系统的正常运行^[4]。通常飞机起落架作动筒用NBR密封圈在安装之前应先按照规范要求要求在15号液压油中浸泡规定时间,然后再进行安装。

本工作模拟NBR5171密封圈在飞机起落架作动筒中的应用状态,进行密封圈分段浸油、施压浸

油以及浸油后晾置试验,分析不同浸油方式、浸油时间和晾置时间下密封圈尺寸以及硬度的变化情况,为NBR密封圈的实际应用提供参考。

1 实验

1.1 密封圈的制备

采用模压工艺制备O形密封圈,硫化条件为:温度 $(151 \pm 2)^\circ\text{C}$,时间 40 min,压力 $(0.39 \pm 0.02) \text{ MPa}$ 。

用相同工艺制备12个密封圈用于对比试验。

1.2 性能测试

所有密封圈在性能测试之前先在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 和相对湿度 $(50 \pm 10)\%$ 下状态调节16 h。

(1) 浸油试验按照GB/T 1690—2010《硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法》进行,介质为15号液压油。

(2) 密封圈内径、外径测量采用光学投影仪按照GB/T 2941—2006《橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序》进行,每个密封圈至少测量3个点,取3个点测量结果的中值。截面尺寸按 $(\text{外径} - \text{内径})/2$ 计算。

(3) 硬度测试采用IRHD橡胶微型硬度计按照HB 5243—1993进行,每个密封圈测量3个点,取3个点测试结果的中值。

作者简介:代晓瑛(1986—),女,陕西西安人,中航飞机股份有限公司高级工程师,硕士,主要从事非金属材料性能的研究和测试工作。

2 结果与讨论

飞机起落架作动筒用NBR密封圈在实际应用中与15号液压油相接触,为了考察密封圈尺寸及硬度变化的影响因素,本工作设计的试验条件比实际使用条件更严苛。试验分为分段浸油试验、施压浸油试验和浸油后晾置试验,每个试验条件下采用两个试样。

2.1 分段浸油试验

通常O形密封圈按一定的直径过盈量安装在密封槽内,对于动密封结构,过盈量一般取10%~25%。过盈量不合适会缩短密封圈的使用寿命,甚至导致密封圈过早失效^[1]。

设计分段浸油试验的目的是分析浸泡时间对密封圈尺寸及硬度的影响。试验条件为:先将密封圈在70℃液压油中浸油24 h,再在常温液压油中分别浸泡24,48,120,240 h,取出晾置2 h。

分段浸油试验密封圈尺寸及硬度变化如表1—4所示。

表1 分段浸油试验密封圈内径 mm			
试样编号	试验前	70℃液压油浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+常温液压油浸泡 ¹⁾ 后
PY-1	85.58	88.17	87.21
PY-2	85.52	87.39	86.95
PY-3	85.64	87.79	87.00
PY-4	85.66	87.86	87.09
PY-5	85.71	87.93	86.83
PY-6	85.65	88.14	86.91
PY-7	85.63	87.77	86.66
PY-8	85.47	87.94	86.64

注:1) PY-1和PY-2试样常温液压油浸泡时间为24 h,PY-3和PY-4试样为48 h,PY-5和PY-6试样为120 h,PY-7和PY-8试样为480 h。

表2 分段浸油试验密封圈外径 mm			
试样编号	试验前	70℃液压油浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+常温液压油浸泡 ¹⁾ 后
PY-1	91.60	94.42	93.40
PY-2	91.54	94.03	93.12
PY-3	91.66	94.03	93.12
PY-4	91.68	94.08	93.22
PY-5	91.68	94.12	92.92
PY-6	91.64	94.35	93.05
PY-7	91.64	93.98	92.78
PY-8	91.48	94.18	92.77

注:1) 同表1。

表3 分段浸油试验密封圈截面尺寸 mm			
试样编号	试验前	70℃液压油浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+常温液压油浸泡 ¹⁾ 后
PY-1	3.01	3.12	3.10
PY-2	3.01	3.12	3.10
PY-3	3.01	3.12	3.06
PY-4	3.01	3.11	3.07
PY-5	2.99	3.09	3.05
PY-6	2.99	3.10	3.07
PY-7	3.00	3.10	3.06
PY-8	3.01	3.12	3.06

注:1) 同表1。

表4 分段浸油试验密封圈IRHD硬度 度			
试样编号	试验前	70℃液压油浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+常温液压油浸泡 ¹⁾ 后
PY-1	71.1	62.7	64.4
PY-2	72.9	62.8	66.0
PY-3	73.4	63.2	66.6
PY-4	71.3	62.6	65.6
PY-5	71.3	63.5	65.3
PY-6	71.2	63.6	65.7
PY-7	72.1	63.4	67.6
PY-8	72.1	62.4	66.6

注:1) 同表1。

从表1—4可以看出:密封圈在70℃液压油中浸泡24 h后,内径、外径和截面尺寸增大,硬度明显降低;再在常温液压油中浸泡后,随着浸油时间的延长,密封圈的內径、外径、截面尺寸比在70℃液压油中浸泡后略有减小,硬度增大,但变化不大。

在实际应用中,密封圈应在15号液压油中浸泡至溶胀饱和状态,然后安装在飞机起落架活塞密封槽中,使其与作动筒紧密接触而不产生扭转。

2.2 施压浸油试验

飞机起落架收放时作动筒上的密封圈受到一定的压力。施压浸油试验是为了考察密封圈在液压油中耐受压力的条件下尺寸和硬度变化,试验条件为:将两个密封圈先在70℃液压油中浸油24 h,再将密封圈平放在常温液压油中并施加1 kg的压力,浸泡5 d后取出,晾置2 h。

施压浸油试验密封圈尺寸及硬度变化如表5—8所示。

从表5—8可以看出:密封圈在70℃液压油中浸泡24 h后,内径、外径和截面尺寸明显增大,硬度降低;再在常温液压油中施压浸泡5 d后,密封圈的

表5 施压浸油试验密封圈内径 mm

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+ 施压浸泡5 d后
SY-1	85.71	88.23	86.70
SY-2	85.56	88.28	86.69

表6 施压浸油试验密封圈外径 mm

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+ 施压浸泡5 d后
SY-1	91.69	94.42	92.78
SY-2	91.59	94.53	92.85

表7 施压浸油试验密封圈截面尺寸 mm

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+ 施压浸泡5 d后
SY-1	2.99	3.10	3.04
SY-2	3.01	3.13	3.08

表8 施压浸油试验密封圈硬度 度

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃液压油浸泡24 h+ 施压浸泡5 d后
SY-1	71.2	63.7	64.8
SY-2	70.3	63.0	66.7

内径、外径、截面尺寸比在70℃液压油中浸泡后减小,硬度略增大,与试验前相比内径、外径和截面尺寸略增大,硬度减小。这说明在飞机起落架收放时只要密封圈不发生扭转,密封圈所受的力对其内径、外径、截面尺寸和硬度影响不大。

2.3 浸油后晾置试验

设计浸油后晾置试验以确定晾置时间对密封圈尺寸及硬度的影响,试验条件为:将密封圈先在70℃液压油中浸泡24 h,再在常温液压油中浸泡3 d,分别晾置0,2,5,7 d后进行测试。

浸油后晾置试验结果如表9—12所示。

从表9—12可以看出:密封圈从15号液压油中取出后,随着晾置时间的延长,密封圈内径、外径

表9 浸油后晾置试验密封圈内径 mm

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃浸泡24 h+常温浸泡3 d后晾置			
			0 d	2 d	5 d	7 d
PL-1	85.46	87.76	87.20	86.57	84.43	83.90
PL-2	85.45	87.49	87.37	86.40	84.28	83.80

表10 浸油后晾置试验密封圈外径 mm

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃浸泡24 h+常温浸泡3 d后晾置			
			0 d	2 d	5 d	7 d
PL-1	91.47	94.00	92.52	92.72	90.39	89.81
PL-2	91.47	93.72	92.85	92.54	90.24	89.70

表11 浸油后晾置试验密封圈截面尺寸 mm

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃浸泡24 h+常温浸泡3 d后晾置			
			0 d	2 d	5 d	7 d
PL-1	3.01	3.12	3.15	3.07	2.98	2.96
PL-2	3.01	3.11	3.15	3.07	2.98	2.95

表12 浸油后晾置试验密封圈硬度 度

试样 编号	试验前	70℃液压油 浸泡24 h后	70℃浸泡24 h+常温浸泡3 d后晾置			
			0 d	2 d	5 d	7 d
PL-1	73.3	64.7	65.3	66.6	78.8	80.4
PL-2	73.1	63.7	67.8	68.5	79.5	81.0

和截面尺寸逐渐减小,硬度逐渐增大;与试验前相比,晾置时间不超过2 d时,密封圈硬度减小且符合材料规范要求(70±5)度,内径、外径和截面尺寸增大;晾置时间超过2 d后,内径、外径和截面尺寸减小,硬度已经不符合材料规范要求。由此得出,密封圈浸油后晾置,应在2 d或设计规定时间内将密封圈安装在作动筒中。

2.4 机理分析

在NBR密封圈耐油试验中,密封圈在70℃液压油中浸泡后再在常温液压油中浸泡,其内径、外径、截面尺寸先由小变大,再由大变小。分析原因,橡胶是由部分交联的三维网状大分子构成,在橡胶制品生产过程中还添加其他配合剂,如硫化剂、促进剂、软化剂、防老剂和填充剂等^[5]。当橡胶制品浸泡在液压油等介质中,特别是在较高的温度下,橡胶分子链段运动加快,使低分子介质逐渐渗入到橡胶的网状结构中,加快了网状结构的胀大,但是由于橡胶分子间化学键的作用,仅发生高弹性变形,这种变形产生的应力又阻止了介质分子的继续渗入。当介质的渗透压力与高弹性变形产生的应力达到平衡时,橡胶不再胀大,仅发生了有限溶胀^[6-7]。当密封圈在高温液压油中浸泡后再在常温液压油中进行浸泡时,由于温度降低,根据热胀冷缩原理,密封圈尺寸变小。另外,在橡胶被介质溶胀的过程中,一些低分子的有机配合剂尤其是防老剂、软化剂被抽提出来,所以随着浸油后晾置时间的延长,密封圈内径、外径和截面尺寸均减小。

此外,耐油试验一般表现出这样的规律:体积胀大,硬度降幅较大;体积缩小,硬度增幅较大^[8]。本试验中12个密封圈的尺寸和硬度变化均符合这

一规律。密封圈在介质中浸泡后,在力学性能(如拉伸强度和拉伸伸长率)变化不大的前提下,允许体积有少量的膨胀,但硬度不能下降太大。

在实际应用中,飞机起落架作动筒内壁与活塞外径尺寸的差值最大约为4 mm,若密封圈在装入活塞后发生溶胀,由于空间限制,密封圈对作动筒内壁的压力就会增大,二者之间的摩擦力提高,密封圈上的摩擦部位发生偏转。当压力达到一定程度时,发生干摩擦现象,在密封圈分模线或其附近的拉应力最大,密封圈多次反复移动时会发生局部破损。因此密封圈在安装前,应先在液压油中按照要求浸泡至规定时间,然后在2 d内安装至飞机起落架活塞密封槽中,使之与作动筒紧密接触而不产生扭转。

3 结论

(1) 密封圈在液压油浸泡后,内径、外径、截面尺寸增大,硬度减小。施压浸油试验结果相同。

(2) 将密封圈从液压油中取出后,随着晾置时间的延长,密封圈内径、外径、截面尺寸逐渐减小,硬度逐渐增大,而且晾置时间超过2 d后内径、外径、截面尺寸较试验前减小,硬度增大。

(3) 通过研究NBR5171密封圈在不同条件浸油试验后的尺寸和硬度变化,确定密封圈在安装前,应先在液压油中按照要求浸泡至规定时间,然后在2 d内安装至飞机起落架活塞密封槽中,可避免密封圈对作动筒内壁的压力引起的偏转。

参考文献:

- [1] 周波,侯学勤. 受油探头橡胶密封圈失效分析[J]. 失效分析与预防, 2011, 6(1): 40-43.
- [2] 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.
- [3] 吴健,张传兵,董吉义,等. 表面缺陷对硅橡胶密封件接触特性的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(4): 441-444.
- [4] 刘晓宇. 浅谈O型橡胶密封圈的装配与拆卸[J]. 科学之友, 2013(7): 19-20.
- [5] 苗蓉丽,殷胜昔,朱锋. O型丁腈橡胶密封圈耐油润滑脂性能研究[J]. 理化检验-物理分册, 2004, 40(6): 279-281.
- [6] 夏祥泰,王志宏,刘国光,等. 飞机起落架作动筒密封圈失效分析[J]. 失效分析与预防, 2007, 2(4): 35-39.
- [7] 苗蓉丽,殷胜昔,朱锋. O形丁腈橡胶密封圈耐油润滑脂性能研究[J]. 航空兵器, 2004, 4: 41-43.
- [8] 高亚娟,赵选勃,王文昌. GIS用三元乙丙、丁腈、氯丁橡胶O形密封圈[J]. 高压电器, 2008, 44(2): 118-125.

收稿日期: 2018-11-09

No. 15 Hydraulic Oil Resistance of NBR Sealing Ring

DAI Xiaoying, LEI Xingping, LU Yujiao

[AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Company Ltd, Xi'an 710089, China]

Abstract: NBR sealing rings were used in the actuator cylinder of aircraft landing gear. The quality of NBR sealing rings had great influence on the sealing effect, which was related to the normal retraction of aircraft landing gear and flight safety. The practical application conditions of NBR seal ring in the aircraft landing gear were simulated, and the stepped oil immersion, pressured oil immersion, and post-immersion storage test of NBR seal ring in No. 15 hydraulic oil were conducted. The results showed that, after being soaked in hydraulic oil, the inner diameter, outer diameter and cross-section dimension of sealing ring increased, and the hardness decreased. After being removed from the hydraulic oil, with the increase of storage time, the inner diameter, outer diameter and cross-section dimension gradually decreased, and the hardness gradually increased. In actual application, the sealing ring should be soaked in the hydraulic oil to the specified time and then installed in the piston sealing groove of aircraft landing gear within 2 days, so as to avoid deflection caused by the pressure of the sealing ring on the inner wall of the actuator cylinder.

Key words: NBR; sealing ring; oil resistance; inner diameter; outer diameter; cross-section; hardness