

涡喷型发动机加力作动筒 密封圈的油封寿命

张元宁

前言

在现代航空上,橡胶密封件广泛地用作各种附件的活动密封和固定密封。本文对涡喷型发动机尾喷口加力作动筒液压系统的密封圈,通过自然老化、人工加速老化、录取飞行和长期试车的径向应力松弛等性能研究,探讨了它的油封寿命。

加力作动筒作为发动机的附件需要装配油封,贮存待用。装配的密封圈要经受环境因素及机械应力、介质等作用的油封期。密封圈装配状态下约压缩13%,既承受作动筒壁给予的径向压缩应力,又承受活塞芯给予的拉伸应力。胶圈在应力状态比在自由状态更易老化。

库兹明斯基^[1]曾试验证明,橡胶在拉伸状态下产生应力活化,反应加快,在应力状态下反应活化能可以降低数千卡。活化能 E 是压力 P 和应力 σ 的函数,应力增大时,活化能 E 减小, $dE/d\sigma < 0$ 。反应速率 $K_0e^{-E/RT}$, E 值减小, K 值增大,反应加速。

橡胶在应力状态,初级作用是由于机械应力产生应力活化游离基,再发生次级作用,氧化裂解。橡胶的氧化为游离基链式反应,使橡胶出现两个不可逆变化:首先是微观的橡胶分子网络化学结构出现不可逆的化学变化,随之而来的是宏观材料物理性质的不可逆衰减,以致最后完全失去使用价值。

液压系统密封圈的工作能力,取决于它的良好弹性和径向接触应力。当活塞杆往复运动时,密封圈既处于润滑状态,又须具有阻止流

体渗漏的能力。构成密封圈径向接触应力的两个因素:一是它的应力松弛,即橡胶分子链或交联键破裂时出现应力松弛现象;一旦密封圈应力松弛,径向接触应力下降至小于系统压力,便失去密封能力,开始渗漏;另一因素是密封圈的径向尺寸,即密封圈与密封壁的适当配合,须有一定的过盈量。在老化过程中,由于橡胶材料的结构化,密封圈尺寸收缩而破坏密封性,出现渗漏。本研究工作采用压缩应力松弛和压缩变形指标来评价密封圈寿命。近年来,应力松弛被公认为研究橡胶老化的一种较好方法,能灵敏地反应出硫化胶在应力状态下网络结构变化情况。许多国家都试图以应力松弛作为橡胶贮存和加速老化试验的评定指标^[2-8]。

试验工作

1. 自然贮存试验

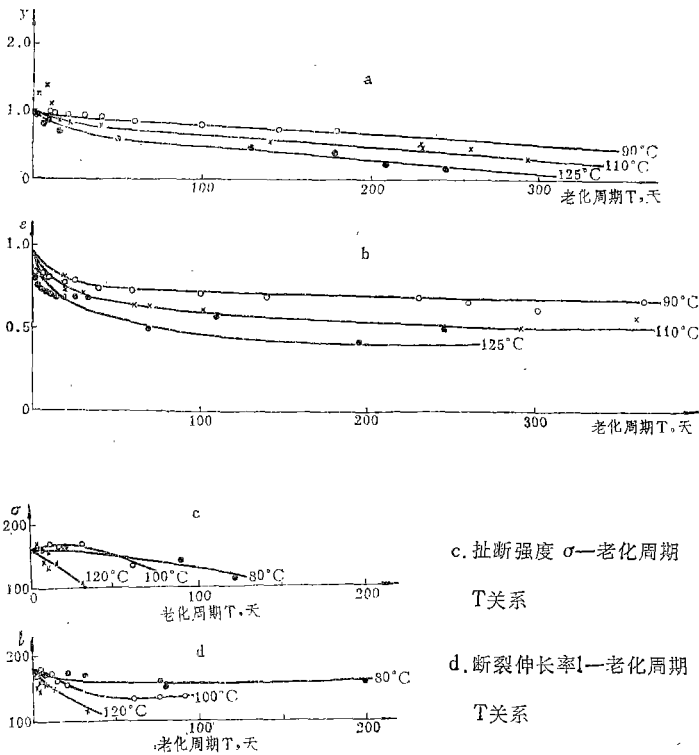
从1976年开始,以涡喷型发动机加力作动筒进行实物油封贮存于海口、哈尔滨两地仓库。四年后取回,在黎明公司模拟往复试验台按批生产出厂前工艺规范进行试验,作动筒工作性能仍然良好,胶圈性能见表1。贮存试验仍在继续进行中。

2. 人工加速老化试验

将5080胶圈装在模拟发动机加力作动筒的卡具中,浸在10[#]液压油中,在90℃、110℃、125℃下进行加速老化,分别录取试样的累计应力松弛、尺寸变形、扯断强度及断裂伸长率,变化情况见图1和表2。

表 1 5080 胶“O”型圈装配在作动筒油封四年的性能

贮 存 地 点			海 口	哈 尔 滨	
模 拟 往 复 试 验 台 件	油 压, 公 斤/厘 米 ²		100	100	
	温 度, °C		68	68	
	往 复 次 数		2100	2100	
	往 复 行 程, 厘 米		13.4	13.4	
作 动 筒 密 封 性			不 渗 漏	不 渗 漏	
经 模 拟 往 复 试 验 后 胶 圈 性 能	径 向 应 力 松 弛 系 数		6125010	1.110	1.250
	径 向 尺 寸, 毫 米		老 化 前/老 化 后	39.838/39.646	39.964/39.90
	自 由 尺 寸, 毫 米	6125010	老 化 前/老 化 后	4.175/4.069	4.217/4.081
		6125009	老 化 前/老 化 后	3.335/3.276	3.350/3.298
	显 微 硬 度	6125010	老 化 前/老 化 后	74.2/74.65	76.0/74.4
		6125009	老 化 前/老 化 后	75.6/69.6	75.1/73.4
	重 量 膨 胀, %		(6125010) -0.75 (6125009) -0.23	(6125010) -0.44 (6125009) 0.53	
	体 积 膨 胀, %		(6125010) -0.35 (6125009) 0.63	(6125010) 0.35 (6125009) 1.73	



a. 径向压缩相对变形系数 y —老化周期 T 的关系

b. 径向压缩应力松弛系数 ϵ —老化周期 T 的关系

c. 扯断强度 σ —老化周期 T 关系

d. 断裂伸长率 l —老化周期 T 关系

图 1 5080 胶“O”型圈应力状态浸 10[#] 红油老化情况

表 2 5080 胶圈人工加速老化试验结果

性能 回归方程 温度	径向压缩应力松弛系数	径向压缩相对变形系数
	置信度 >95%	置信度 >95%
90°C	$K = -0.08623 - 0.0003019x$	$K = -0.0002441 - 0.0008866x$
110°C	$K = -0.1060 - 0.0005490x$	$K = 0.02719 - 0.001713x$
125°C	$K = -0.1254 - 0.0008698x$	$K = 0.06469 - 0.002608x$
$\lg K - \frac{1}{T}$ 回归方程 相关系数	$\lg K + 4 = 5.6926 - 1.8936 \times 10^3 \frac{1}{T}$ -0.9994	$\lg K + 4 = 6.2877 - 1.9377 \times 10^3 \frac{1}{T}$ -0.9998

注: K 为该老化温度下反应速度常数。

橡胶的老化行为,一般属于一级反应过程

$$y = \frac{ft}{f_0} = e^{-KT}$$

其反应速率常数 K 与反应温度 T 的关系符合 Arrhenius 方程 $K = Ae^{-E/RT}$, 利用 $\lg K - \frac{1}{T}$

线性关系,可外推求出任一特定温度下的反应速率常数(寿命)。参考文献[2—5]计算反应速率均按方程式(1)

$$\lg K = A + BX \quad (1)$$

求取常温反应速率常数 K_{30} (30°C 寿命)。考虑到试验中由各方面因素引起的随机误差所给出的寿命值应按数理统计的概念,在一定可靠

性水平(即置信度)下的一个范围值^[9],可按方程式

$$\lg K' = A + BX \pm tSy \quad (2)$$

式中 t 为置信度水平, Sy 为试验数据的标准偏差。式(2)给出式(1)波动范围的上下界限。图 2 描述了 5080 胶“O”型圈径向压缩应力松弛系数与相对变形系数、反应速度常数 K 的方程,表达了它的上下波动范围。下界限给出的 $\lg K'$ 小于 $\lg K$, 算出的寿命要高于平均寿命。为了保证安全,计算寿命时只考虑上界限,即按 $\lg K' = A + BX + tSy$ 求出常温反应速率,再算出寿命。

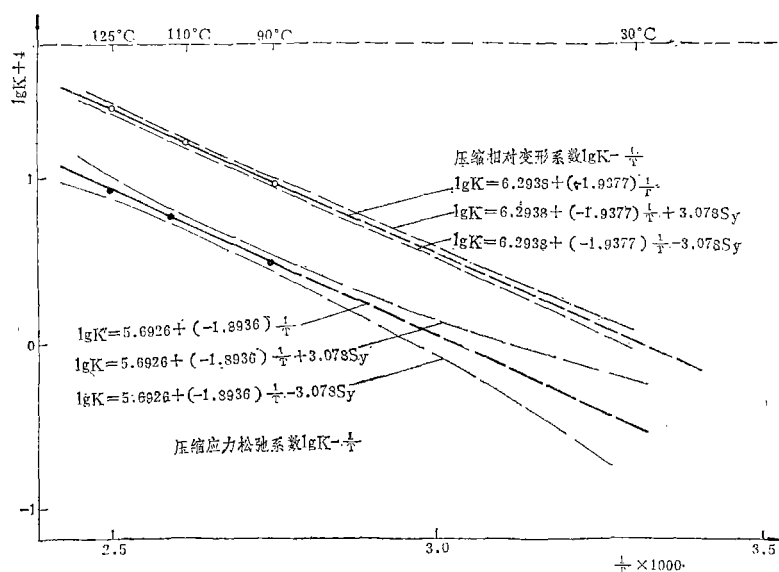


图 2 5080 胶“O”型圈
应力松弛、变形
老化、反应速度
常数 K 与绝对温
度 T 关系

表3 5080胶“O”型圈油封寿命

寿命及K 温度 °C	K	$\tau_{0.7}$	K'	$\tau'_{0.8}$	$\tau'_{0.7}$	$\tau'_{0.6}$
	$\lg K = A + BX$	年	$\lg K' = A + BX + tSy$	年	年	年
40	4.4032×10^{-5}	9.6	5.8058×10^{-5}	> 4.6	> 7.3	> 10.5
30	2.7833×10^{-5}	15.2	3.8419×10^{-5}	> 6.9	> 11.0	> 15.8
28	2.5322×10^{-5}	16.7	3.5302×10^{-5}	> 7.5	> 12.0	> 17.2
25	2.1865×10^{-5}	19.4	3.0932×10^{-5}	> 8.6	> 13.7	> 19.7
23	1.9841×10^{-5}	21.4	2.8350×10^{-5}	> 9.4	> 15.0	> 21.4
20	1.7035×10^{-5}	24.9	2.4719×10^{-5}	> 10.7	> 17.2	> 24.6
15	1.3174×10^{-5}	32.2	1.9606×10^{-5}	> 13.5	> 21.6	> 31.0
10	1.00998×10^{-5}	42	1.5464×10^{-5}	> 17.2	> 27.4	> 39.3

注: K 为老化速度常数, $\tau_{0.7}$ 为取临界值 0.7 时油封期。

结果表明, 5080胶“O”型圈经人工加速老化试验, 置信度90%, 应力松弛系数临界值取0.7时, 25℃的油封寿命为13.7年。应力松弛系数临界值取0.6~0.8时的油封寿命见表3。

3. 飞行使用及地面延寿试车

(1) 作动筒密封圈使用情况

1980年以来, 我们调查了14台涡喷型发动机加力作动筒密封圈工作状况及性能变化, 测试了250个5080胶“O”型圈工作性能和径向压缩应力松弛系数等指标, 结果见表4。

(2) 作动筒密封圈延寿试车情况

1980年, 对已装机6年经历二次飞行寿命(250小时)的5080胶圈进行长期试车(200小时), 按试车工艺规程检查加力作动筒的密封性, 录取发动机加力部分的工作参数。

经250小时飞行+200小时地面试车结果表明, 加力作动筒工作正常, 未渗漏, 能满足

发动机工作要求, 密封圈性能良好(见表4)。

装机12年并工作220小时或装机6年并工作450小时后, 密封圈的应力松弛系数最低降至0.52, 发动机工作性能仍然良好。应力松弛系数0.52并非临界值, 因此密封圈尚未寿终。

结 束 语

根据涡喷型发动机加力作动筒模拟件加速老化和实际飞行使用结果, 探讨了所用丁腈胶(5080)密封圈的寿命, 初步结论为: 油封期12年仍能满足200小时以上的使用寿命。

参加本研究工作的有沈聿苓、刘月华、高国胜、孙福桐。

附记 据1972年美国空、海军航空标准ANAN438通报^[10], B-24D轰炸机作动筒液压系统橡胶密封件在利比亚沙漠地区暴露16年后仍处于良好状态, 作动筒不渗漏。鉴于30年前(1942年)所用橡胶在恶劣条件下长期存放尚能使部件正常工作, 并提出了取消“O”型胶圈的贮存期限限制, 这对确定我国航空液压系统橡胶密封圈寿命是值得借鉴的。

参 考 文 献

- [1] Г. Л. 斯洛尼姆斯基, 高分子物理学, 化学通报, №1, 1961。
- [2] 用化学应力松弛法快速估算橡皮材料

(下转第31页)

表4 5080胶“O”型圈使用性能统计测试结果

	装发动机 年	飞行使用, 小时	应力松 弛系数	扯断强度 公斤/厘米 ²	断裂伸长率 %	显微 硬度
I	5~6	一次飞行寿命70~80	0.65	200	200	77
II	2	一次飞行寿命 200	0.84	>200	>200	—
III	12	二次飞行寿命 220	0.63	185~200	162~200	—
IV	6	二次飞行寿命 250 一次长试 200	0.52	—	—	75
V	新胶圈	—	1	>200	160~190	80±5

四、结论

GH37 镍基高温合金二次淬火后经缓冷、散冷和水冷三种热处理制度的蠕变/疲劳交互作用试验表明:

1. 合金的热处理制度对蠕变/疲劳复合寿命有很大影响。二次淬火后缓冷的合金, 循环断裂寿命最高, 散冷的次之, 水冷的最差。

2. 缓冷及水冷合金显示循环强化效应, 散冷合金显示循环软化效应。

3. 循环载荷频率对蠕变/疲劳复合寿命有影响, 负荷保持10分钟, 在三种热处理制度下, 循环强化效应均有所降低。

4. 在三种热处理制度下, 材料延伸率与循环断裂次数关系不大, 缓冷合金循环塑性较稳定, 水冷合金在2000次循环后, 延伸率有下降趋势。

5. GH37 合金蠕变/疲劳交互作用试验结果与实物叶片故障分析结果相符。散冷叶片与材料交互作用性能偏低的原因, 与晶内析出 γ' 强化相过细有关。其原因是增大了晶内和晶界的强度梯度, 使晶界相对弱化。

6. 由于GH37 合金在700℃时有一低塑性区, 合金在此温度范围内, 试样断口特征均属沿晶型韧性断裂。表明复合损伤主要在晶界, 这一结果与延性耗竭理论相符。

7. 用蠕变/疲劳交互作用损伤方程

$$\sum \frac{N}{N_f} + B \left(\sum \frac{N}{N_f} \cdot \sum \frac{\Delta t}{t_r} \right)^{\frac{1}{2}} + \sum \frac{\Delta t}{t_r} = 1$$

可粗略地估算材料的循环寿命。GH37 合金的循环强化和软化效应与交互作用系数B的计算值相符合。

(上接第39页)

的贮存期, 高分子通讯, Vol. 7, No2, 1965。

[3] 硫化橡胶在应力状态下的老化, 橡胶参考资料, No4—5, 1980。

[4] AD 658308。

[5] AD 755827。

[6] ГОСТ 9.024—74。

[7] Southwart, D. W., M. Sc., Ph. D., A. P. R. I., Laboratory Assessment of O-ring Sealing Performance, Proceedings of the Seventh International Conference on Fluid Sealing, 1975。

[8] Об изменении деформации уплотнительных деталей в процессе старения, Каучук и резина, №12, 1970。

[9] 航空橡胶及制品老化性能研究总结, 六二一研究所,

1981。

[10] ANA №438。

更正:

本刊1982年第4期第30页第3行作者单位“一七二厂”应更正为“成都市无缝钢管厂”, 并在此向作者闵家显和郝玉林同志表示歉意。

编辑部 1983.1

启 事

本期杂志因故延期, 敬请读者鉴谅。