

航空橡胶密封圈的质量管理

朱兆祥

橡胶密封零件在航空燃油、滑油、液压油系统以及其它系统使用很普遍,用量相当大。其质量的好坏,直接影响航空产品的性能和飞行安全。航空橡胶零件质量故障,在国内外飞机上都曾发生过不少。如美国 F-100 飞机操纵系统发生故障,水平尾翼产生抖动,俯冲转弯时曾发生三次自动偏舵,水平尾翼和方向舵自由浮动,查原因皆是橡胶密封圈损坏,胶末堵塞出油口所致。F-101A、F-105 和 F-111 等飞机,也多次提出液压系统密封零件漏油问题,其中大部分属于低温漏油($-55\sim-40^{\circ}\text{C}$),部分报告也提出高温漏油。在美国喷气客机液压系统的故障中,有三分之二是由于密封件不良而导致系统渗漏。美国空军材料实验室约翰逊气体中加入 0.1% O_2 , 以及采用不锈钢制夹具就是这种具体措施。

3. 铝合金焊丝的选择

气体保护电弧焊接铝合金,对于填充焊丝的选择需要考虑以下六个问题:①焊缝裂纹敏感性,例如焊接 6061 母材,采用 4043 (Al-Si) 焊丝比用 5356 (Al-Mg) 焊丝产生裂纹的倾向性要小,而焊接 5052 母材时,正好相反;②焊缝强度,例如用 4043 焊丝和 5356 焊丝焊接 6061 母材,焊缝金属的焊态横向试样极限强度相同,而焊接接头经固溶处理和时效时,4043 焊丝比 5356 焊丝更能较好地配合热处理,焊后热处理的接头抗拉强度最高,而角焊缝的抗剪强度,5356 的焊缝比 4043 的高 50%;③焊缝塑性,铝合金焊缝熔敷金属的延伸率变化较大,这取决于母材和焊丝二者的组合,例如焊接 6061 母材时,5356 焊丝的焊态焊缝自由弯曲,延伸率比 4043 的高 50% (24% 比 16%),而焊后热

逊曾指出:“非金属材料性能已成为决定飞机系统及飞机性能的一个重要基准,由此才能设计新的先进系统,这一类材料的代表就是弹性体和涂料”。我国航空密封零件存在问题也不少,耐寒性差,冬天漏油漏气,高温使用寿命短,高速轴密封不耐磨,不耐老化,橡胶金属活门不耐冲击等等,外场维修更换密封零件工作量大。橡胶密封零件标准不完善,质量控制不严格等等。

国外空军部门、航空工业公司和橡胶工业公司对航空密封零件的质量问题,都十分重视,对航空橡胶零件的研究、生产、保管和使用,实行严格的质量管理,有一系列的标准控制,以保证用到飞机上的橡胶密封零件是可靠处理使其塑性大大降低。焊后需要校正和成形时,必须考虑这个问题;④高温使用性能的要求;⑤耐蚀性,对于各种介质中耐腐蚀的性能;⑥阳极化处理时焊缝与母材颜色的匹配。

五、钛合金的焊接

用于喷气发动机和导弹的高强钛合金有: Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo-0.25Si; Ti-5Al-5Sn-2Zr-4Mo-0.25Si 等,焊接时熔合区主要是马氏体组织。关于三种亚稳态 β 钛合金: Ti-8V-7Cr-3Al-4Sn-1Zr, Ti-8V-4Cr-2Mo-2Fe-3Al, Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn, 2.5 毫米厚的退火板材,钨极氩弧焊,焊后时效处理,可获得优质焊缝,其中以 Ti-8V-7Cr-3Al-4Sn-1Zr 合金的综合性能最好。

1.6 毫米厚 Ti-8Al-1Mo-1V 合金钨极氩弧焊,结论认为,为了减少残余应力,补焊圆形焊缝的直径愈小愈好,焊缝愈短愈好。

的。本文就我国和英、美国家航空橡胶密封零件标准的部分情况作一简要介绍，以便吸取别国有益的经验。

我国航空橡胶胶料及零件标准有：航空工业橡胶零件及型材用胶料标准 HG6-407-71，包括天然橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶、丁苯橡胶的胶料和用这些胶料制造的航空橡胶零件标准 HG6-409-71；专用胶料标准 HG6-878-76，包括用于 150℃ 以下燃油、滑油、液压系统的丁腈胶料，对银无腐蚀的丁苯胶料；国防工业用硅橡胶胶料标准 HG6-677-74，国防工业橡胶制品标准 HG6-678-74；国防工业用氟橡胶胶料标准 HG6-880-76，国防工业用氟橡胶制品标准 HG6-881-76。还有一些其它的标准。在橡胶密封零件标准中，一般规定外观检验和耐油膨胀试验，多年来实践证明，只控制胶料性能和检查成品外观是很不够的，这种检验往往不能反映橡胶密封零件质量优劣。

英、美国家使用的航空橡胶标准，除了胶料标准外，还有橡胶 O 形密封圈性能标准，尺寸标准，标志和包装标准，贮存条件和贮存期控制标准，以及密封设计标准等。通过这些标准来进行质量管理。

一、国外航空橡胶 O 形密封圈标准

英、美国家制订的航空橡胶 O 形密封圈标准，是按照橡胶类型和用途来区分的，见表 1。

表 1 英、美等国橡胶密封圈分类有关标准

标准名称	标准号
英国航空部技术发展局标准	
1. 耐石油基液压油和润滑油丁腈橡胶 O 形密封胶圈	DTD 5606
2. 耐燃油和合成润滑油丁腈橡胶 O 形密封胶圈	DTD 5607
3. 耐磷酸酯液压油乙丙橡胶 O 形密封圈	DTD 5608
4. 耐油硅橡胶 O 形密封圈	DTD 5605
5. 氟橡胶 O 形密封圈	DTD 5603
6. 低压缩变形氟橡胶 O 形密封圈	DTD 5513
7. 英国航空用一级公差的 O 形圈尺寸系列	BS M 33

标准名称	标准号
美国航空材料规范	
1. 耐燃油和低温的合成橡胶密封圈	AMS7270、AMS7271E、AMS7260
2. 耐合成润滑油丁腈橡胶密封圈	AMS7272C
3. 其尺寸标准	MS29561
4. 耐石油基润滑油丁腈橡胶密封圈	AMS7274E
5. 其尺寸标准	AN123851—123950
6. 耐磷酸酯液压油丁基橡胶密封圈	AMS7263B、AMS7277B
7. 耐高温流体氟橡胶密封圈	AMS7278D、AMS7279D
8. 低压缩变形氟橡胶密封圈	AMS7280
9. 实用尺寸标准	ARP568
美国军用规范	
1. 耐石油基液压油密封圈	MIL-P5516B (71°C) MIL-P-25732 (135°C)
2. 其尺寸标准	AN6227, AN6230, MS28775
3. 耐燃油橡胶 O 形密封圈	MIL-P-5315
4. 其尺寸标准	MS29513
5. 耐合成润滑油橡胶 O 形密封圈及其它制品	MIL-R-7362B
6. 耐高温流体氟橡胶密封圈	MIL-R-25897E
7. 低压缩变形氟橡胶密封圈	MIL-R-83248
8. 耐寒氟橡胶密封圈	MIL-R-83451
美国航空航天标准委员会标准	
1. 耐磷酸酯液压油丁基橡胶密封圈	NAS1612
2. 其尺寸标准	NAS1611
3. 耐磷酸酯液压油乙丙橡胶密封圈	NAS1613
4. 一级一型高温液压油用 O 形橡胶密封圈	NAS1593
5. 二级一型高温液压油 O 形橡胶密封圈	NAS1594
6. 三级一型耐高温流体 O 形密封圈	MAS1595
日本飞机用橡胶 O 形密封圈	
1. 耐燃油橡胶 O 形密封圈	JISW 1530
2. 耐润滑油橡胶 O 形密封圈	JISW 1529
3. 耐石油基液压油橡胶 O 形密封圈	JISW1516 JISW1539

注：日本的标准内容与美国军用规范的大体相当，其尺寸要求分别归入同一标准中。

二、橡胶O形密封圈检验项目

在英国，制造胶圈所用的胶料必须经过航空质量检验局批准，制造方提供的胶圈样品和同批样品的试验结果向质量检验局申请批准。

密封圈一般要求，应符合飞机用一级公差的圆形橡胶密封圈尺寸标准，以及航空用弹性O形密封圈的制造和检查标准(SBACTS.49)，试验项目常规检查，包括硬度、比重、压缩永久变形、耐介质、耐热老化、热失重等性能。选用的试验方法着重其重复性和控制材料性能的能力，不拟采用模拟使用试验，因这类试验的条件多变，用于控制目的并不理想。

在美国标准中，液压系统O形密封圈的要求是很严的，如军用规范 MIL-P-25732A 规定，制造的O形密封圈的质量和外观状态应符合联邦标准 MIL-STD-413 (橡胶O形圈的目视检验指南)。制造厂工艺规程必须保证密封件整个剖面上物理性能一致，外观光滑，尺寸符合标准。该标准规定了鉴定的试验项目和质量控制试验项目，鉴定试验项目比较多：

1. 抗张强度、伸长率 (新的胶圈、经空气老化的和油老化的胶圈试样)；
2. 硬度；
3. 伸张永久变形 (新的和经油老化的试样)；
4. 耐油体积变化；
5. 比重；
6. 定伸模量 (新的和经油老化的试样)；
7. 抗撕裂强度；
8. 腐蚀与粘附性；
9. 低温回缩温度 (耐寒性试验)；
10. 工作性能；

1) 密封圈在试验作动筒低温性能试验：低温渗漏试验，低压循环，高压循环，高压静态渗漏试验；

2) 密封圈在试验作动筒高温性能试验：高温渗漏试验，高压循环，低压循环，低压静态渗漏试验，高温起动试验；

3) 密封圈疲劳试验；

4) 抗挤压试验；

5) 耐久性 (寿命) 试验。

军用规范 MIL-P-25732A 规定密封圈生产的稳定性是十分严格的，不仅要求性能符合规定指标，而且要求批生产产品物理性能对承制鉴定样品试验结果的最大容许偏差在表 2 范围内：

表 2 性能允许偏差范围

性 能	容许偏差	性 能	容许偏差
比 重	±0.02	永久变形 20%	±20%
硬 度	±3	低温回缩温度	±1°C
抗张强度	±15%	腐蚀和粘附性	钢上有微量
伸 长 率	±20%	耐油体积变化	±2%
100%模数	±25%		

三、橡胶试验用标准油

在燃油、润滑油、液压油系统工作的橡胶密封圈，经常接触到油介质，油的基础成份及添加剂，都会对橡胶产生影响。对于橡胶与油的相容性，应该进行详细的研究。橡胶密封圈投入批生产后，耐油性检验，在国外一般采用标准介质试验，避免由于油的成分变动而难于判断橡胶质量的稳定性。例如采用 ASTM741-68 橡胶耐油性试验方法规定的标准介质，或 SAE 规定的标准介质，见表 3 和 4。

表 3 ASTM 参考燃油

参考燃油 A	异辛烷
参考燃油 B	异辛烷 70% (体积) 甲苯 30% (体积)
参考燃油 C	异辛烷 50% (体积) 甲苯 50% (体积)

表 4 ASTM 参考油系

	No.1	No.2	No.3
苯胺点, °C	123.9±1.0	93.0±1.0	69.5±1.0
赛玻特通用粘度, 秒	98±5	100±5	155±5
闪点, °C	243.3	240.5	162.7

合成润滑油标准试验油:

1. ASTM №101 双-2-乙基己基癸二酸酯99.5%; 夹硫氮杂蒽0.5%;

2. SAE №2 Stauffer Blend 7700 (脂肪酸三元醇酯合成润滑油)。

抗燃液压油标准试验油:

SAE 磷酸酯标准试验液 №1A (磷酸三正丁酯)。

接触各种工作油的橡胶, 可以选择适当的标准试验油。例如在燃油中工作的合成橡胶, 可选用ASTM参考燃油B; 耐石油基液压油的橡胶选用ASTM №3 参考油, 耐石油基润滑油的橡胶选用ASTM №1 参考试验油; 耐高温合成润滑油的氟橡胶选用ASTM №101 双酯润滑油, 或SAE №2三元醇酯润滑油; 耐磷酸酯液压油的乙丙橡胶和丁基橡胶, 选用SAE磷酸酯标准试验液№1A。

我国目前还没有制定标准试验油, 在耐油橡胶的检验中, 供需双方试验结果不一致, 有的就是因所用油的产地不同, 成分差异引起的。

四、密封圈的标志与包装

为了方便使用, 不致因错用密封圈而造成事故, 在英、美、法等国家的密封圈标准中, 都规定胶圈用颜色标志 (标志漆也有相应的标准), 有专门标准规定标志方法。例如英国航空规范 BS.F69 (硫化橡胶制品的包装和标志) 规定, 用三种颜色记号, 第一、二种用于识别制造零件所用的橡胶类型及用途, 第三种表示硫化时间 (年、季), 也可用第四种作硬度标志。

如丁腈橡胶密封圈标志:

第一、二种标记

用于烃类燃油	黄标线绿圆点;
用于润滑油	橙标线绿圆点;
用于液压油	红标线绿圆点;
用于双酯润滑油	棕标线绿圆点。

第四种标记:

硬 度 (B.S)	低于30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	高于90
颜 色	白或黑	黄	紫	橙	绿	红	兰	棕

包装方法。在BS.F 69 及 AMS 2817、MIL-O-4861有相应的规定。为使橡胶O形密封圈在安装前得到保护, 不致受到外来物的污染, 并保证每批密封圈直到装配时能确切的分辨, 每个胶圈应单独包装。包装材料: I类为牛皮纸两面涂聚乙烯薄膜; II类为一面涂聚乙烯另一面涂敷300号玻璃纸。包装袋口, 用热密封接缝, 保证热密粘合强度, 包装袋清楚地标印下述各项: 材料号——; 零件名称——; 材料标准号; 硫化日期——年——季; 包装日期——年——月; 制造厂——。

我国生产的密封圈没有标记和单独包装的标印, 某厂曾发生过将1144 (天然胶) 误作ИПН1144 (氟橡胶, 苏联胶号) 装在发动机上, 造成二百台发动机返工。

五、贮存条件及贮存期控制

大多数硫化橡胶在贮存时物理性质会起变化, 最后可以变得不能使用, 如过分硬化、软化、龟裂或其它表面变质。这些变化可以是一种因素所造成, 也可以是多种因素 (臭氧、氧、光、热和潮湿) 综合作用的结果。但是, 这些因素的影响可以通过精心选择贮存条件而减低到最小。英、美、法各国和国际标准组织规定了橡胶制品的贮存条件。如英国标准 BS 3574和国际标准组织的标准ISO 2230建议的贮存条件: 温度应在25℃以下 (最好15℃以下), 避免潮湿, 防止光照, 特别是紫外光; 尽可能防止循环空气, 贮存室特别注意不能有发生臭氧的设备 (如水银蒸气灯、高压电气设备), 以防止氧、臭氧对橡胶作用; 橡胶不应与液体、半固体材料以及与金属接触 (特别是铜、镁、铁金属)。不同成分的橡胶也不能互相接触, 橡胶制品要避免受力变形。

橡胶制品在贮存时, 应控制贮存期。许多橡胶零件按规范严格控制生产, 并经适当的包装和有良好的贮存条件下, 能保持在完全能用

的状态许多年,但有些橡胶受热、光、氧、臭氧、湿气等因素影响变坏,比另一些橡胶敏感。因此英、美等国家根据多年积累的经验,制订橡胶制品贮存期控制标准,如英国标准BS3F68,规定A类和B类橡胶制品需要定期检查,X类则不需要。

A类对老化变质敏感:

天然橡胶、聚丁二烯橡胶、聚戊二烯橡胶、聚氨酯橡胶、丁苯橡胶。

B类对老化变质中等敏感:

丁腈橡胶、丁腈/聚氯乙烯橡胶、氯醇橡胶、氯丁橡胶、丁基橡胶、聚丙烯酸酯橡胶。

X类对老化不敏感:

氯磺化聚乙烯、乙丙橡胶、硅橡胶、氟硅橡胶。

A类初始贮存期5年,检验合格可延长2年,B类初始贮存期7年,检验合格可延长3年。两类在延长贮存期后,再检验合格,还可再次延长。

我国航空橡胶制品经过多年的贮存研究,现已初步制订出航空橡胶混炼胶及硫化制品仓库贮存期标准YF1-37-7。

以上介绍了航空橡胶密封圈的质量管理,

(上接第39页)

断面和弧面断面都存在白色粒子及结块碳黑粒子,说明弧面部位的胶料或是颈部的胶料其均匀性都差不多,但其物理机械性能差别很大,大约差一半(见表1和2)。认为其原因与混炼工艺无关,而是硫化工艺不当所造成的。

综合分析表明,胶囊颈部断裂的主要原因是胶囊硫化成型工艺不当所造成的。按工厂规定,胶囊的硫化工艺是 $143\pm 2^{\circ}\text{C}\times 40'$,预热时间为20分钟,总共约60分钟;胶囊体积很大,高约160毫米,硫化时温度计插于中部(大约于高80毫米处),当硫化升温时,模型中部插温度计处到达 $143\pm 2^{\circ}\text{C}$ 时,模型下部(即胶囊颈部)已大大超过 $143\pm 2^{\circ}\text{C}$ (据初步试验大约达到 185 至 195°C)。这样经过40分钟的硫化胶囊中部到达正硫化点,而胶囊颈部早已过硫化;加上胶囊是采用注压成型工艺,丁腈胶料的流动性也较差,于是形成颈部是一个非常薄

但要保证用到航空上可靠,需要有合理的密封设计,所以国内外有设计标准如美国MIL-P-5514、ARP 1231、ARP 1232、ARP 1233、ARP 1234。我国也有航空密封设计标准HB 4-56 67、HB 4-57 67,但不够完善。

六、结束语

英、美等国家对航空橡胶密封圈之类制品的质量是很注意的,通过制订各种标准实行全面的质量管理,他们的经验有些值得我们借鉴。目前我国航空胶料和零件标准还很不完善,建议制订各种胶型的O形密封圈标准和唇形密封件标准,根据这些标准检验、控制生产质量。并组织进行航空胶料标准整顿,使之标准化系列化,逐步做到航空橡胶材料“更新一代”,以适应航空发展的需要。

主要参考资料

- [1] 橡胶参考资料, 1978, No. 6.
- [2] 橡胶参考资料, 1973, 10; 1975, 2.
- [3] ASTM 741, ASTM 1414.
- [4] NAS 1613, NAS 1611.
- [5] MIL-P-5516, MIL-P-25732.
- [6] JIS W 1530, JIS W 1529, JIS W 1516, JIS W 1539.
- [7] NF 17-103, NF 17-104.
- [8] ISO 2230-73.

弱的环节,成为胶囊颈部断裂的主要原因。若再加上打毛刺工艺不当,颈部有裂口,及以后装配工艺扭紧力矩过大等,胶囊在使用过程中,颈部就会断裂。

三、建议

鉴于上述情况,提出如下建议:

1. 胶囊硫化工艺对胶囊质量影响很大,必须改进胶囊硫化成型时压机的控温装置,尤其应注意改进辅助加温装置,使胶囊各部位能够同时到达正硫化点。

2. 为避免胶囊颈部产生撕裂缺口敏感,要经常检查模具颈部处的光滑面,不得有碰伤、毛刺等隐患。

3. 改进零件打毛刺工艺,以防止胶囊颈部损伤而产生裂纹。

4. 由于胶囊颈部有明显应力集中,请生产部门考虑,设法消除应力(如改进产品结构等)。