

某助力器漏油故障分析及设计改进

丁伟 刘成辉 高岚

(海军装备部 陕西 西安 710077)

摘要: 某型机配套助力器在地面试车检查时发现壳体与筒体结合处漏油,在筒体与壳体结合面处呈线状喷油现象,进一步检查发现壳体组件与筒体结合部位处存在缝隙,用手指触动过盈螺纹螺桩头部,过盈螺桩有晃动现象。通过开展故障树排查分析,结合助力器安装及使用环境分析,认为该产品筒体与壳体结合面漏油故障是因过盈螺桩断裂导致端面密封失效引起的,同时该产品使用环境较严酷,产品自身腐蚀防护能力不足,腐蚀介质进入壳体与筒体的配合面,又因配合面缝隙配合,会留存电解介质和腐蚀产物,加剧了应力腐蚀而断裂。针对该产品故障原因采取筒体和壳体结合面及贴合面涂改性聚硫密封胶的方法,阻止腐蚀介质进入产品结合面,以破坏应力腐蚀发生所必备的条件,经试验验证改进措施有效。

关键词: 漏油;故障排查;密封失效;腐蚀应力;改性密封

0 引言

某型助力器主要由输入机构、卡滞报警装置、油液分配系统、执行机构和反馈机构组成。该助力器是基于输入位移而产生输出运动的液压功率放大器,驾驶员提供输入位移,飞机液压源提供液压能,输出端驱动飞机尾桨变距,以减少座舱操纵装置的操纵载荷和承受旋翼的铰链力矩。由于该机构为液压源输出,因此密封性能好坏直接决定产品性能^[1]。

1 问题描述

在某次地面试车检查时,发现该型助力器壳体与筒体结合处漏油。漏油部位如图1所示,在筒体与壳体结合面处呈线状喷油现象,进一步检查发现壳体组件与筒体结合部位处有约2mm的缝隙,用手指触动铝镁合金过盈螺纹螺桩头部,过盈螺桩有晃动现象。为查明故障原因对故障件建立故障树进行排查定位。

2 故障树分析

2.1 筒体与壳体结合面漏油分析

根据产品筒体与壳体结合处端面密封的组成和产品工作原理,以筒体与壳体结合面漏油为顶事件,建立了故障树,如图2所示。

经外观检查、局部产品分解等方法对筒体及壳体结合面漏油事件分析得到上述故障树排查结果,



图1 漏油部位示意图

如图3所示。

将故障件的螺桩、壳体及筒体进行失效分析得到:

(1)尾桨助力器螺桩断裂的性质是应力腐蚀断裂,壳体掉块性质是应力腐蚀断裂。

(2)螺桩基体为回火索氏体组织,基体组织均匀,未见疏松、孔洞等材料冶金缺陷,螺桩表面存在全脱碳晶粒组织,厚度约为10~12 μm ;材料硬度值偏技术要求上限。

(3)尾桨助力器螺桩的断裂原因是螺桩在回火脆温度区间回火及强度偏高,导致其具有较大的应力腐蚀敏感性,螺桩表面存在全脱碳晶粒组织影响钝

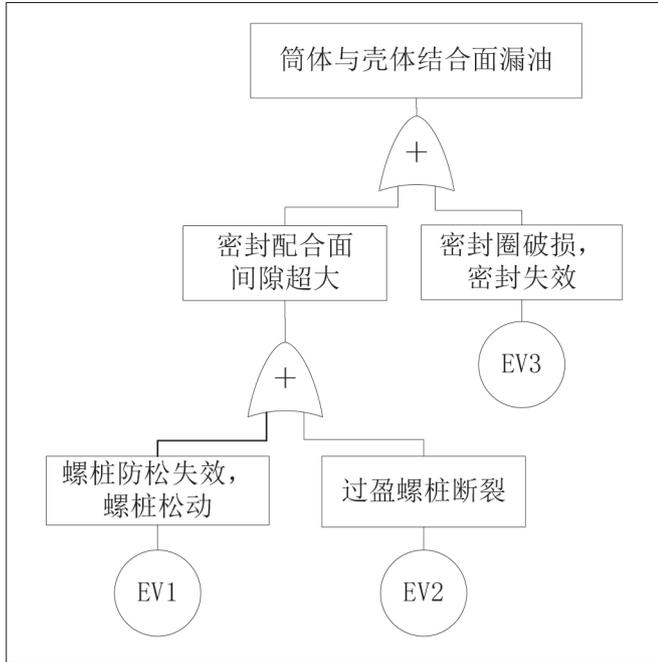


图2 筒体与壳体结合面漏油故障树

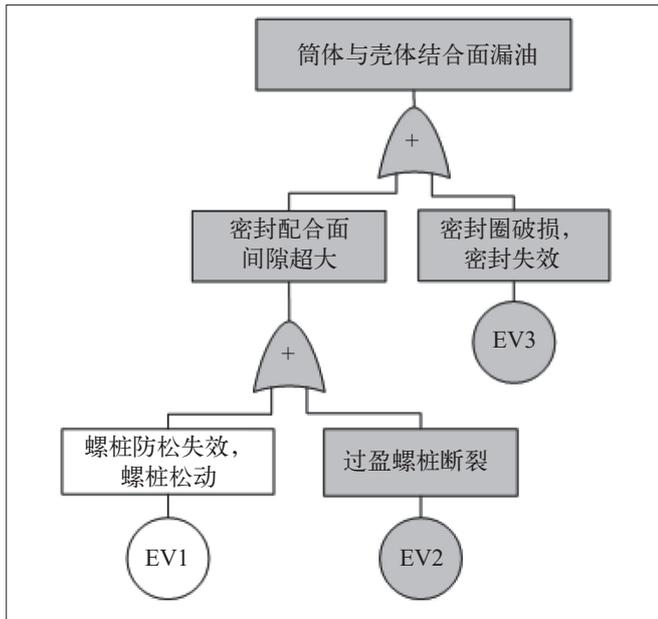


图3 筒体与壳体结合面漏油故障树排查结果

化效果,降低螺钉耐蚀能力,从而在氯离子作用下发生应力腐蚀断裂。应对产品进行应力腐蚀排查。

2.2 过盈螺栓应力腐蚀排查

根据助力器产品的工作原理及运动原理、过盈螺栓装配受力关系,以过盈螺栓应力腐蚀断裂为顶事件,对可能造成过盈螺栓应力腐蚀断裂的影响因素进行故障树分析,如图4所示。

根据以上排查,螺栓拧紧力矩、油压作用力、重量及振动环境等单一影响因素均不能造成螺栓强度

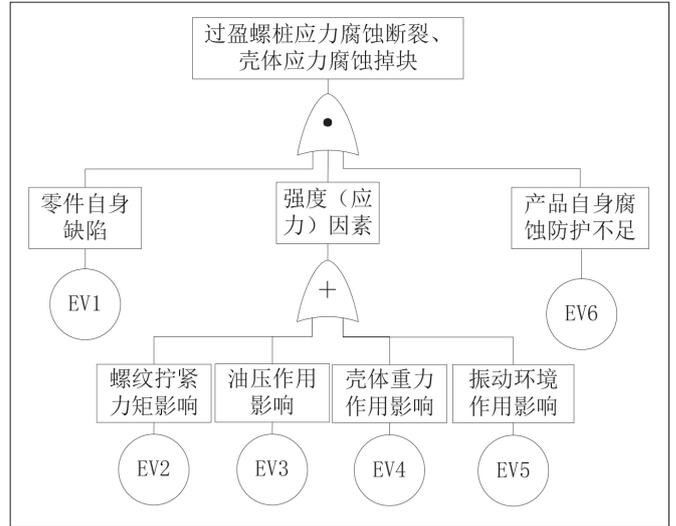


图4 产品应力腐蚀断裂故障树分析图

(应力)失效,考虑以上综合工况下最大应力,得到螺栓安全系数为2.12。同时拧断5个过盈螺栓,其中最小力矩大于产品要求的最大拧紧力矩。因此对强度(应力)因素可排除。

进一步分析可知,产品装机后,整体倾斜安装,没有机罩的遮挡,产品的壳体裸露在大气环境中,仅用漆层进行防护。漆层在淋雨-暴晒、振动等环境下会沿壳体/筒体结合面形成小缝隙,导致湿气和雨水等腐蚀介质沿着漆层的缝隙进入壳体与筒体的配合面,从而使腐蚀过程由外向内逐渐扩展。缝隙进入雨水等电解质溶液后,就在壳体与筒体之间形成了电偶腐蚀,导致电位较低的铝合金发生阳极腐蚀,电位较高的不锈钢发生伴有析氢的阴极反应;又因两者配合面之间是缝隙配合,会留存电解质和腐蚀产物,使缝隙内的小环境越发恶劣,这同时加剧了电偶腐蚀和缝隙腐蚀。因过盈螺栓及壳体的外表面防护性差,在海洋环境下受腐蚀因素影响,会加速应力腐蚀的扩展。

通过螺栓应力腐蚀排查、综合故障树中可能的故障原因排查,最终确定产品自身腐蚀防护不足造成应力腐蚀断裂。故障树排查分析表如图5所示。

3 机理分析

3.1 漏油机理分析

壳体与筒体通过4个过盈螺栓连接,4个过盈螺栓共同承受两处密封部位的油压交变冲击力,每个螺栓的受力是均衡的。当一侧的任意一个螺栓发生应力腐蚀断裂后,该侧剩余螺钉的受力情况必然比

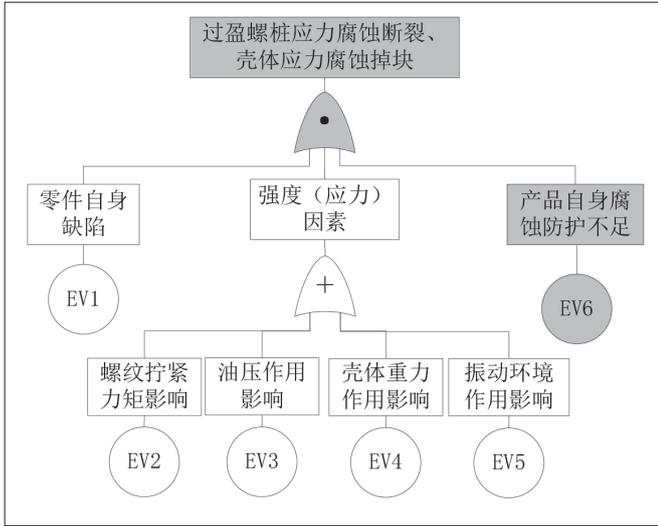


图5 故障树排查分析表

另一侧的螺钉（仍有2个）严酷，且壳体与筒体的连接处形变较大，加剧损坏了漆层完整性，在比非断裂螺钉一侧受力更大且腐蚀环境更恶劣的情况下，已断裂一侧的螺钉更容易再发生应力腐蚀断裂。当该系的壳体出现2个螺桩断裂时，剩余的2个螺桩不足以克服交替变换的油压作用力，会出现缝隙。由于缝隙的产生，破坏了密封圈端面密封的机理。密封圈在交替高压冲击下被挤入缝隙中并在高压油的作用下拉扯产生破损断裂情况，造成密封失效漏油现象^[2]。

3.2 螺桩断裂机理分析

3.2.1 水汽等腐蚀介质进入机理分析

(1) 助力器所处安装环境为暴露区，易受湿气、雨水、盐雾等环境影响并在产品筒体与壳体结合面处聚集。结合面仅有漆层防护，不能起到密封作用。在飞机起降过程中产品内外部压力变化，产生呼吸作用，导致外部水汽进入产品内部并聚集^[3]；

(2) 水汽进入多少与飞机所经历高温、高湿、高盐等“大环境”相关，高温、高湿会使产品内部聚集水汽更多，高盐环境使产品内部环境更恶劣（海洋环境氯离子）^[3]。

3.2.2 腐蚀机理分析

助力器所处安装环境为暴露区，受到湿气、盐雾、燃料废气等作用，逐渐在结构内部聚集，形成高湿热环境。当相对湿度超过某一临界值后，金属表面

能够形成连续存在的薄液膜，在大气中会发生电化学腐蚀，同时海洋环境中含有Cl⁻离子，Cl⁻离子对缝隙腐蚀具有催化作用，加剧了腐蚀。腐蚀过程由外向内逐渐扩展，产品筒体与壳体结合面一侧的螺桩在腐蚀加重的过程中发生了应力腐蚀断裂，破坏了密封圈端面密封的机理。密封圈在交替高压冲击下被挤入缝隙中并在高压油的作用下拉扯产生破损断裂情况，造成密封失效漏油现象^[4]。

4 改进设计

4.1 措施分析

该产品过盈螺桩应力腐蚀断裂条件由两个因素综合造成：(1) 螺纹连接拧紧力矩产生的应力；(2) 产品防护性差造成腐蚀介质进入壳体与筒体的贴合面。由产品的连接结构可知，应力工况是产品的自然属性，因此从阻止腐蚀介质进入产品结合面处采取措施。

计划对产品采取贴合面及结合面涂HM109-1改性聚硫密封剂的方法，阻止腐蚀介质进入产品结合面，以破坏应力腐蚀发生所必备的条件，对产品纠正措施的具体要求如下：

(1) 对厂内新生产的壳体分组件或修理产品更换壳体分组件时，在装配过程中对过盈螺桩螺纹部分涂HM109-1改性聚硫密封剂。

(2) 结合面涂胶示意图如图6所示。对产品两个壳体组件与筒体组件的结合面（图6中的A、B面）涂HM109-1改性聚硫密封剂。

(3) 在壳体组件的过盈螺桩装配锁紧后，对结合面、螺桩、垫圈、螺母的外露部分用HM109-1改性聚硫密封剂密封，最后对产品喷漆^[5]。外露部分涂胶示意图如图7所示。

4.2 方案验证

为了与故障复现试验进行对比，验证措施有效性，搭建的试验环境与故障复现环境相同。

对1、2号试验件累计完成22d（11干11湿）、3

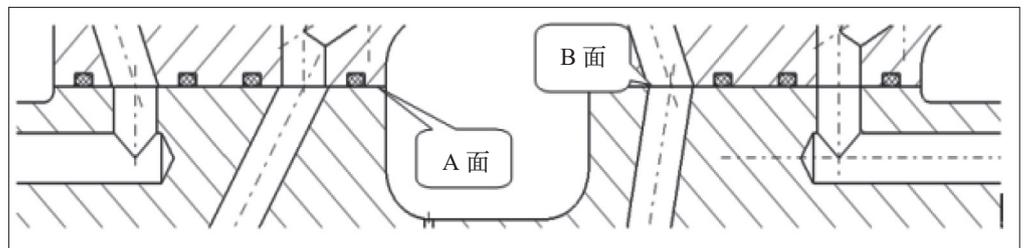


图6 结合面涂胶示意图

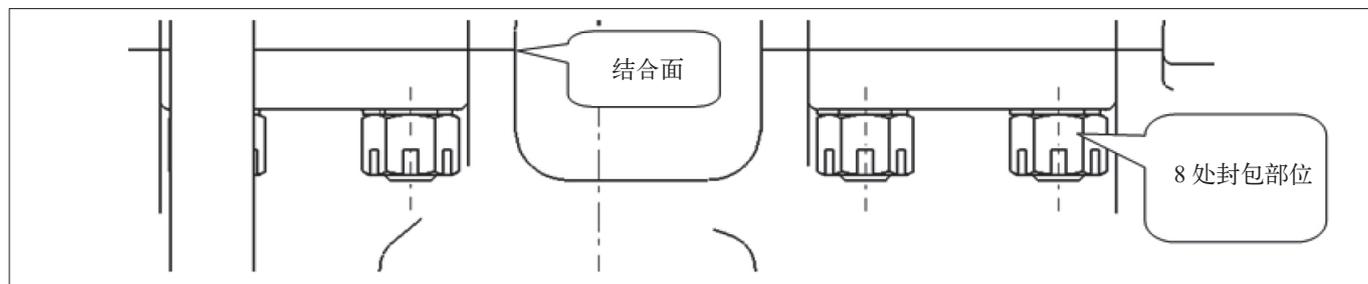


图7 外露部分涂胶示意图

号试验件累计完成16d(8干8湿)的盐雾试验后,目视检查4组试验件铝合金与钢的贴合面处无锈蚀,经放大镜检查过盈螺柱没有出现断裂情况,如图8~图10所示。

由纠正措施的试验验证结果可知,产品涂HM109-1改性聚硫密封剂后,在相同的腐蚀环境下,采取纠正措施及临时纠正措施的试验件表面及螺栓无锈蚀。

对纠正措施验证试验件配合表面检查,表面无锈蚀,证明采取纠正措施及临时纠正措施的方法可有效阻止腐蚀介质进入产品结合面处。

5 结语

(1) 本次尾桨助力器壳体与筒体结合处严重漏油

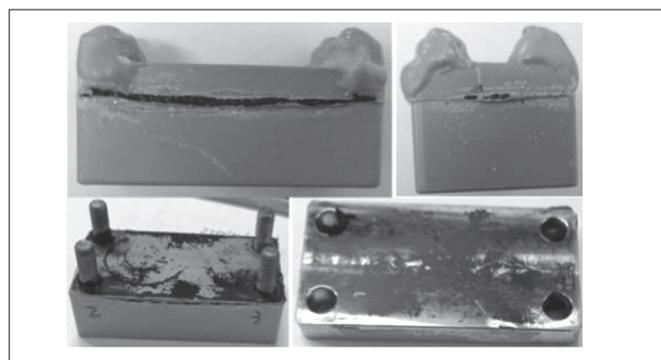


图8 1号试验件盐雾试验后图示

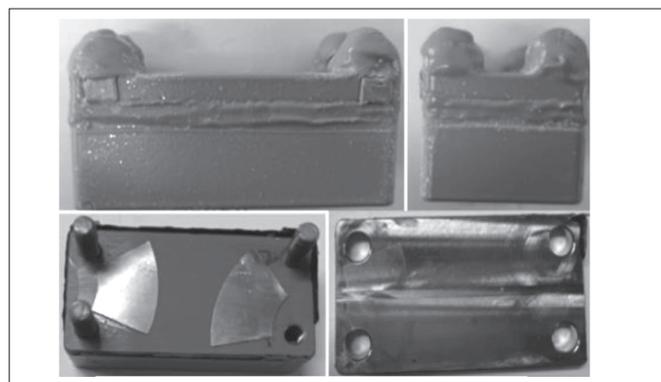


图9 2号试验件盐雾试验后图示

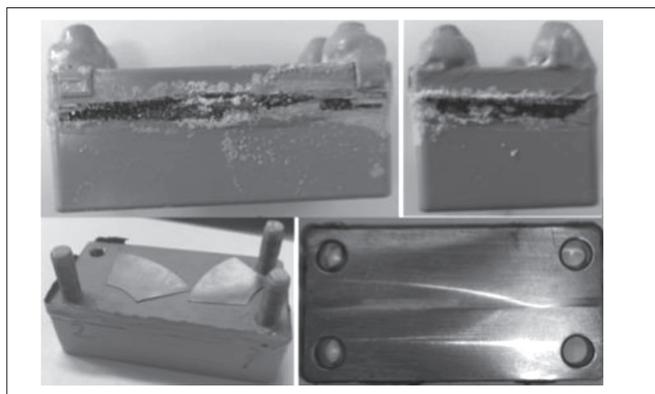


图10 3号试验件盐雾试验后图示

故障原因为过盈螺柱断裂导致密封圈受损所致,过盈螺柱断裂的原因是壳体与筒体配合面的防护性差,造成了螺柱的应力腐蚀。故障定位准确,机理清楚,并完成了故障复现。

(2) 采取在壳体与筒体结合处涂HM109-1改性聚硫密封剂及相关外露部分进行密封处理的措施,经盐雾试验验证,措施有效。

参考文献:

[1] 张焱,温育明,王山.某飞机液压油箱漏油故障研究[J].润滑与密封,2021,46(5):142-145.
 [2] 张利平.液压传动与控制[M].西安:西北工业大学出版社,2005:165-170.
 [3] 李玲,孙文胜,高鹏.某型飞机液压油箱常见故障分析及预防[J].新技术新工艺,2014(2):122-124.
 [4] 李雪铭,李伟楠.某型飞机液压油箱漏油故障分析[J].航空维修与工程,2019(4):100-101.
 [5] 聂晓东,胡军,李旋旋,等.拧紧工艺对螺栓预紧力影响的实验研究[J].中国工程机械学报,2019,17(1):75-78.

作者简介:丁伟(1982.02-),男,汉族,安徽阜阳人,博士研究生,高级工程师,研究方向:航空装备质量监督。