

【其他研究】

某型滑油压力传感器可靠性强化试验方案设计

张俊,姚军

(北京航空航天大学 可靠性与系统工程学院, 北京 100191)

摘要:以某型滑油压力传感器为研究对象,根据其自身特点与工作环境建立了故障树,得到了该型传感器的薄弱环节及主要故障模式。通过故障模式的研究分析得到了该型传感器的敏感应力,对可靠性强化试验应用于该产品进行了可行性分析,并设计了适用于该型滑油压力传感器的可靠性强化试验方案。

关键词:滑油压力传感器;故障树;敏感应力分析;可靠性强化试验

中图分类号:TP212

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)11-0130-04

滑油压力传感器是目前使用最广泛、用量最大的传感器之一,广泛应用于航天、航空、舰船等军事工程和武器装备中,成为当今发展高新技术装备不可缺少的电子产品。但是,滑油压力传感器还缺乏统一的可靠性试验方法和标准,限制了其使用和可靠性的提高,究其原因,主要是因为缺少统一的实验方法,以及传感器不可拆卸,种类功能繁多,使可靠性分析困难。可靠性强化试验以有限试验费用及较短时间为基础,通过施加比产品技术规范极限更加严酷的试验应力,激发产品的潜在缺陷,同时不断进行改进和验证试验手段,将可靠性强化试验方法引入到该型滑油压力传感器的可靠性研究工作中,有助于提高该产品可靠性。

本文拟以某型滑油压力传感器为研究对象。通过研究其自身特点与工作环境,建立故障树,确定该型滑油压力传感器的薄弱环节及主要故障模式;通过分析该型滑油压力传感器的薄弱环节及主要故障模式得到其敏感应力,结合该型滑油压力传感器可靠性强化试验的可行性分析,进行该型滑油压力传感器的可靠性强化试验方案设计。以为该型滑油压力传感器可靠性的提高提供有益指导。

1 某型滑油压力传感器的薄弱环节分析

1.1 某型滑油压力传感器的构成

该型滑油压力传感器主要由壳体、底座和线圈组件、衔铁组件、密封橡胶圈、上盖、油压接口、管接头、插座等组成。将减压膜片与底座、线圈骨架进行焊接组成底座组件;将漆包线缠绕在骨架上,组成线圈组件;将底座和线圈组件、衔铁组件装在壳体中固定;产品调试好后将壳体与底座和线圈组

件焊接在一起,插座为电气连接元件,可保证电路的良好导通;绝缘套管、绝缘元件能保证产品在非工作状态下具有良好的绝缘性。结构组成如图1所示。

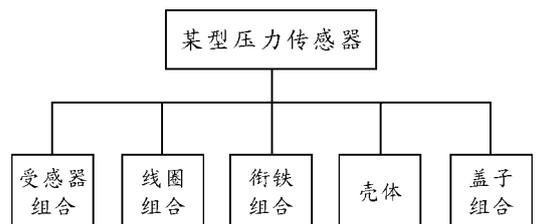


图1 某型滑油压力传感器的构成

1.2 故障树分析

故障树是用来表示产品组成部分的故障或系统与环境综合作用下导致的产品故障的逻辑图。故障树分析分为定性分析与定量分析。为了识别导致故障树顶事件发生的所有故障模式的集合并发现潜在故障模式及其薄弱环节,一般采用定性分析法。

以该型滑油压力传感器产品失效为顶事件进行故障树分析,如图2所示。

图2中:事件 x_1 由多余物进入引起,多因油路不干净或油路受到污染造成;事件 x_2 、 x_5 多是由膜片受到疲劳磨损、腐蚀磨损或者压力过大引起;事件 x_3 主要是由于衔铁与中心杆连接的螺纹松动引起;事件 x_4 主要是由于O型圈使用时间过长、O型圈本身有缺陷或者密封圈经受腐蚀破坏,腐蚀老化,腐蚀变形等引起;事件 x_6 主要是焊接时焊缝有缺陷或者油路受到污染进而引起焊缝腐蚀造成的;事件 x_7 主要由导线焊接质量不高或者产品在振动、噪声载荷下疲劳断裂引起;事件 x_8 是由插头和插座连接不良引起的。

收稿日期:2011-08-10

作者简介:张俊(1984—),男,硕士,主要从事可靠性与环境试验研究。

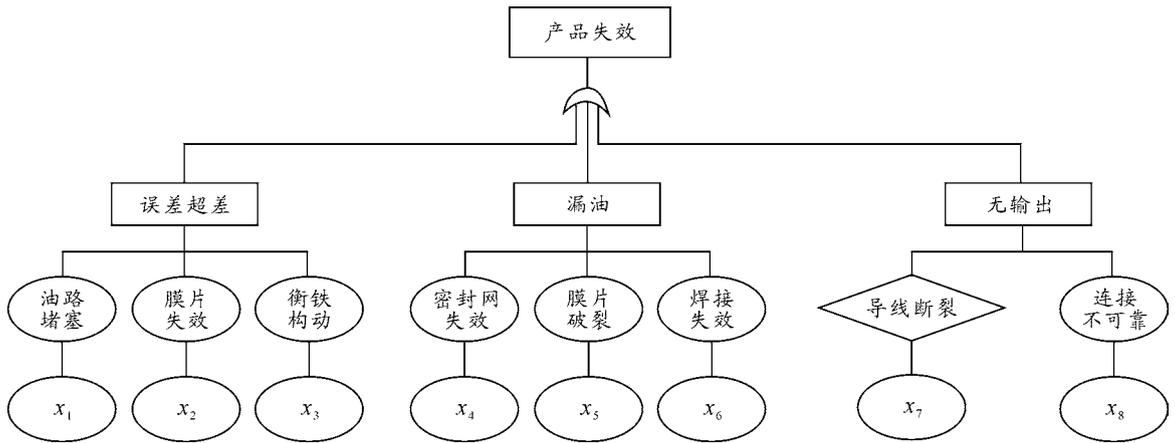


图2 某型滑油压力传感器产品失效故障树

1.3 敏感应力分析

通过故障树分析可以得知,某型滑油压力传感器的故障主要发生在误差超差和漏油上,具体分为:油路堵塞,膜片失效,衔铁松动;密封圈失效,膜片破裂,衔铁焊接失效等等。

该型滑油压力传感器对油液的清洁度要求很高,因为油液污染所造成的危害是很严重的,油液污染颗粒越多,越易造成油路堵塞,同时加速密封圈、膜片和焊缝的腐蚀与磨损,从而导致误差超差和泄漏增加。同时密封件也对其也有一定的影响,密封件的腐蚀、老化、变形、掉渣有时会引起传感器油路泄漏,严重的则会使传感器油路堵塞。污染的物质还有可能集成油泥或生成酸,腐蚀受感器。如果污染油内存在小沙粒,还有可能在系统里划伤部件,进而导致受感器和衔铁组合的漏损,使得部件磨损加剧。对于该型滑油压力传感器,污染油中有较大的颗粒对传感器的正常工作是很致命的,在极端情况下,还可能会导致传感器突然失效^[1]。

油液污染主要来自3个方面^[2]:① 残留于滑油系统中的污染物。在制造、运输、贮存过程中不可避免地残留很少量的型砂、灰尘等,在系统未工作前就已潜伏于内部。② 液压系统中新生成的污染物,如由于磨损、表面疲劳或划伤产生的金属粉末、管道内锈蚀剥落物、油液因氧化变质产生的胶质、碳渣等。③ 滑油系统外部侵入的污染物,如灰尘、砂粒、水、空气及各种化学物质等。外部的污染主要由系统的密封性不良及结构的缺陷所引入。由于油液内有些污染物会随着温度的升高进入气隙的内部,当降温时又凝结在气隙内,若其停留在小孔或间隙内,便会导致传感器的功能衰减或工作失效;当工作压力出现脉动,系统环境(温度、振动等)急剧变化时,这些污染物还会加剧对膜片的损伤^[3],使传感器气隙的耐污染能力下降。由此可知,油液污染对温度和振动都比较敏感。疲劳磨损的诱发机理为^[4]:当2种材料相对运动(滚动或滑动)时,接触区受到循环应力的反复作用;当循环应力超过材料接触疲劳强度时,接触表面或表面上某处形成疲劳裂纹,造成表面局部脱落的现象。在滑油滑油压力传感器系统中,疲劳磨损将使传感机构准确度下降,进而导致传感器工作不稳定或者失效。因此,循环应力对疲劳磨

损的影响较大。腐蚀磨损的作用机理为:摩擦过程中,摩擦面与周围介质发生化学或电化学反应,造成表面材料损失的现象。影响腐蚀磨损的主要因素有腐蚀介质(如酸、碱、盐)的性质、零件表面氧化膜的性质和环境温度与湿度等。因此,温湿度对腐蚀磨损的影响较大^[5]。

2 传感器的可靠性强化试验方案设计

2.1 可行性分析

对该型滑油压力传感器施加强化应力,进行可靠性强化试验是为了加速传感器应力损伤,发现其缺陷、故障及薄弱环节并对其进行分析以找到提高其可靠性的重要手段。

一般而言,可靠性强化试验^[6]由温度步进应力试验、快速温变循环试验、振动步进应力试验、综合环境应力试验组成。温度步进应力试验能快速激发传感器系统的接触不良、密封圈失效,以及由于通过提高油液温度进而加速内部污染物对产品的腐蚀进程,从而导致产品漏油影响测量精度与误差超差等一系列故障模式。试验方法简单易行,具有相当的可操作性与可实施性。快速温变循环试验能够激发密封圈老化、传感器衔铁结构变化、使线圈等材料各种微观裂纹扩大,衔铁连接松动等失效模式,出现膜片变形、漏油引起的误差超差、衔铁松动等故障模式。振动步进应力试验能够加速产品结构件的疲劳损伤,使连接件松动松弛,并导致已经受损或安装不紧固的材料部件出现裂纹及松动,引起膜片破裂、衔铁松动、焊缝失效与导线断裂等故障模式。综合环境应力试验比单个环境应力试验能更有效地激发出产品的故障。

2.2 某型滑油压力传感器可靠性强化试验方案设计

基于环境应力对产品的损伤趋势,确定本次可靠性强化试验的试验流程为:低温步进应力试验、高温步进应力试验、快速温度变化试验、振动步进试验和综合环境应力试验5个阶段,各步骤间相互关系如图3所示。温度步进试验阶段包括低温步进应力试验和高温步进应力试验,首先进行对产品损伤相对较小的低温步进试验,然后再进行高温步进试验^[7]。

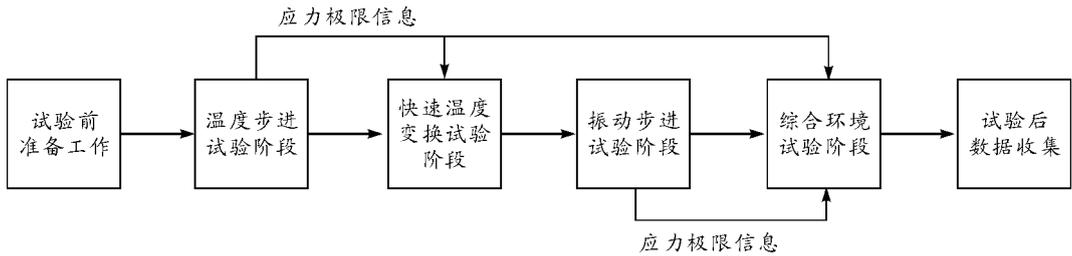


图3 可靠性强化试验流程

2.2.1 高低温步进应力试验

进行高低温步进应力试验的目的是为了通过强化高温应力或者低温应力来加速产品由于高温或者低温而导致的故障发生速度。基于本文研究产品——某型滑油压力传感器装配在发动机附件机上的事实,其产品工作极限温度为 $-45 \sim 135 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在实施的过程中,一般以 $5 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度步长进行步进应力试验。试验开始阶段步长可以选为 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$,当温度快接近极限温度时,步长可变为 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此在参考可靠性强化试验标准的基础上分别制定如图4、图5所示的试验剖面,可以针对产品及试验设备组合系统的复杂程度与油液导热情况来确定功能性能检测时间 t ,每个温度稳定阶段都要进行1次功能性能检测,试验设备的温变率可以设置为 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

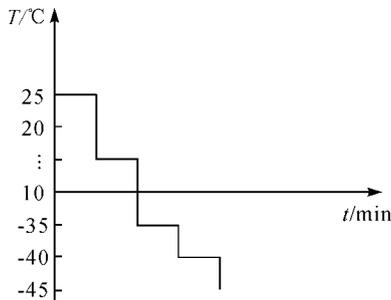


图4 低温步进应力试验

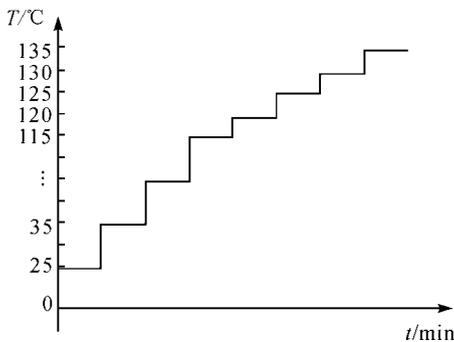


图5 高温步进应力试验

2.2.2 快速温变应力试验

快速温变应力试验是从常温开始以一定温变率降温至

低温工作极限附近(取 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 差值),保持稳定一段时间后进行功能性能检测。然后以相同的温变率升温至高温工作极限附近,保持相同的稳定时间并进行检测,至此完成一个快速温变循环,温变率可以综合考虑产品和相关标准进行确定,一般取 $15 \sim 60 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。就滑油压力传感器而言,考虑试验油的导热率,产品需要在高低温保持稳定时间 $10 \sim 20 \text{ min}$ 为宜。试验剖面如图6所示,一般而言需要进行5次循环。

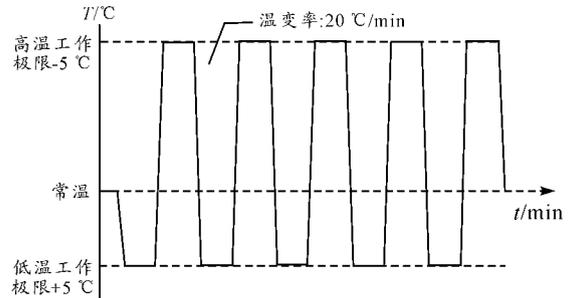


图6 快速温变应力试验

2.2.3 振动步进应力试验

由于该型滑油压力传感器安装在发动机附件机上,通过对产品技术条件的分析确定振动试验量值采用GJB150.16第4类的规定。振动量级一般从较低的 $3 \sim 5 \text{ Grms}$ 开始,本文选用 4 Grms ,步进量级为 2 Grms ,振动稳定后,在每个振动量级上都维持 $5 \sim 10 \text{ min}$,从而确定工作极限和破坏极限。当振动量级较高时,每个步进结束后需要返回“微振动”以检测较高振动水平下可能发生的故障^[8-9]。振动功率谱与振动应力试验剖面如图7、图8所示。

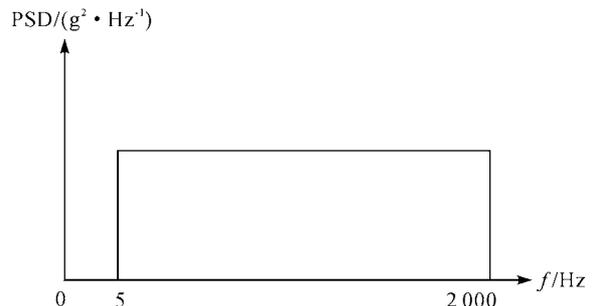


图7 振动功率谱

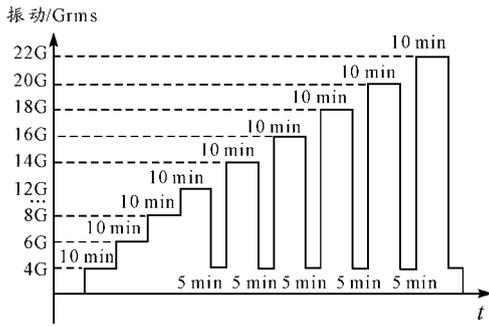


图8 振动应力试验剖面

2.2.4 综合环境应力试验

综合环境应力试验一般将温度循环试验和振动步进应力试验综合,同时加大湿度条件。温度循环应力施加方法与快速温变循环试验相同,通过步进振动应力,根据已完成试验获得的振动应力破坏极限和设定的循环次数确定步长。

就该型滑油压力传感器而言,具体设计为:若前面振动步进应力试验得到的破坏极限为 20 Grms,温度循环次数为 5,那么起始振动为 4 Grms,循环 1 次振动量级为 4 Grms,2 次为 8 Grms,3 次为 12 Grms,4 次为 16 Grms,5 次为 20 Grms。具体试验剖面设计如图 9 所示。

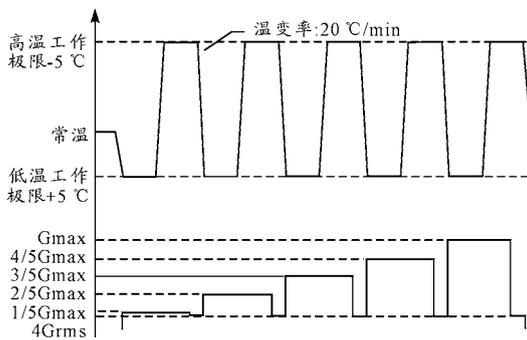


图9 综合环境应力试验剖面

3 结束语

本文通过对某型滑油压力传感器故障树的建立,进行了导致故障发生的敏感应力分析,讨论了可靠性强化试验应用于该传感器的可行性,提出了可靠性强化试验方案,对该型滑油压力传感器的可靠性试验技术方法进行了探索性研究。

参考文献:

- [1] 冯朝胜,戴鸿志,贺平辉. 电液伺服系统的油液污染控制[C]//2008年中小高炉炼铁学术年会论文集.[S.l.]:[s.n.],2008:542-543.
- [2] 范立荣. 液压系统油液的污染、监测及控制[C]//液压(液力)用油品质及污染控制技术论文集.[S.l.]:[s.n.],2004.
- [3] 许广林. 系统油液污染对伺服阀工作可靠性的影响[J]. 航空精密制造技术,1994,30(4):33-35.
- [4] 刘洪志. 磨损与磨损可靠性[J]. 中国制造业信息化,2009,38(17):65-67.
- [5] 张新,王小红,王立志,等. 电液舵机系统的可靠性强化试验方案设计[J]. 装备环境工程,2010,7(6):208-221.
- [6] GREGG K H. Accelerated Reliability Engineering: HALT and HASS [M]. Chichester and New York: JOHN WILEY-&SONSLTD,2000.
- [7] 石安利,秦丽,夏文达,等. 可靠性强化试验在硅滑油压力传感器上的应用[J]. 仪表技术与传感器,2010(8):35-38.
- [8] 金永兴,刘涛,方涛,等. 基于Labview的光纤光栅温度传感器实验研究[J]. 激光杂志,2009,30(1):32-34.
- [9] 吴英才,顾铮先. 长周期光纤光栅温度传感器的研究进展[J]. 激光杂志,2009,30(2):11-13.

(责任编辑 周江川)