

某电子设备振动环境功能失效分析

杜尚勇, 何文灿, 张云翔

(中国电子科技集团公司第二十九研究所, 成都 610036)

摘要: **目的** 检查电子设备是否能承受其工作环境的考验, 提高其可靠性。 **方法** 模拟设备在真实环境下的工况, 进行振动冲击试验。 **结果** 某机载电子设备振动试验功能失效, 通过逐级分析, 结合机理分析和仿真验证, 定位振动故障原因, 并给出设计和工艺改进方案。 **结论** 验证有效, 可以作为同类故障处理参考。

关键词: 电子设备; 振动试验; 失效分析

中图分类号: TJ01

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)06-0115-04

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.06.017

Failure Analysis of Vibration Environment Test Function of an Electronic Equipment

DU Shang-yong, HE Wen-can, ZHANG Yun-xiang

(The 29th Research Institute of CETC-29, Chengdu 610036, China)

ABSTRACT: The purpose of this paper is to check whether the electronic equipment can withstand the test of its working environment and improve its reliability. The vibration and shock test is carried out under the condition of simulating equipment in real environment. The vibration test function of an airborne electronic equipment failed. Through step-by-step analysis, mechanism analysis and simulation verification, the cause of vibration fault was located, and the design and process improvement scheme were given. The conclusion is effective and can be used as a reference for similar fault treatment.

KEY WORDS: electronic equipment; vibration test; failure analysis

机载电子设备在使用过程中会受到各种机械力(如振动、冲击等)的作用, 影响电子设备的可靠性。据国外资料介绍, 航空电子设备故障 29%~41%由机械负荷的作用引起。为了检查电子设备是否能承受其振动环境的考验, 模拟电子设备在真实环境下的工况, 进行振动、冲击试验, 以确保电子设备在真实环境下可靠地工作。

1 故障情况

某设备进行振动/冲击试验, 振动前指标测试正常, 试验从 Y 轴水平方向开始。振动过程中, 完成一次指标测试后约 30 min, 观察到低波段支路周期自检故障, 同时该支路频谱监视波形异常, 信号无法分选输出。

收稿日期: 2020-12-07; 修订日期: 2021-01-14

Received: 2020-12-07; Revised: 2021-01-14

作者简介: 杜尚勇(1983—), 男, 工程师, 主要研究方向为电子对抗技术。

Biography: DU Shang-yong (1983—), Male, Engineer, Research focus: electronic countermeasure technology.

通讯作者: 何文灿(1978—), 男, 工程师, 主要研究方向为产线自动化开发。

Corresponding author: HE Wen-can (1978—), Male, Engineer, Research focus: production line automation development.

引文格式: 杜尚勇, 何文灿, 张云翔. 某电子设备振动环境功能失效分析[J]. 装备环境工程, 2021, 18(6): 115-118.

DU Shang-yong, HE Wen-can, ZHANG Yun-xiang. et al. Failure analysis of vibration environment test function of an electronic equipment[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(6): 115-118.

振动试验开始前和进行中,都进行了数据测试,设备工作正常,在继续振动过程中,突发故障。通过统自检信息进行分析,故障初定位于变频接收机内部频率合成器模块。更换后,分机工作正常,故障定位为频率合成器故障。

打开故障模块,对内进行目检,发现原本焊接在A3电源转换板输出OUT(+9 V)上的20号红色高温导线脱落。用万用表测试导线两端电阻,为0.2~0.6 Ω ,满足设计值,其余低频电缆均导通。由此可判定低频电缆异常,如图1所示。

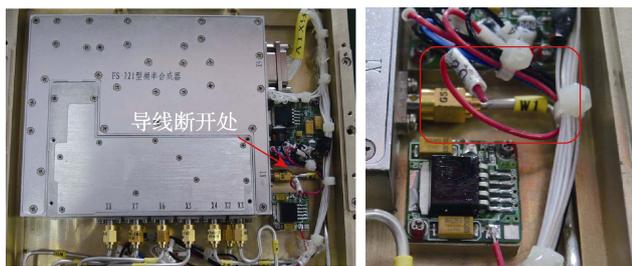


图1 低频电线断开情况

Fig.1 Low frequency wire disconnection diagram

将该故障高温导线脱落端重新焊接到电源转换板上,对模块进行测试,输出信号及频谱正常,故障排除。导致本次故障的原因是频率合成器内部20号红色高温导线断裂。

2 失效分析

2.1 导线断裂原因分析

模块腔体内部存在连接焊点处的电缆断裂,故障点印制板上的焊盘为表贴焊盘,导线为高温导线AF-250-0.1。其在模块内的操作主要有以下几个步骤:1)导线下线及预走线;2)导线剥线处理;3)导线与焊盘焊接;4)焊盘清洗并涂覆三防;5)导线走线整理及点胶加固。上述步骤中对导线断开有影响的步骤是2)、3)和5)。

2.1.1 导线芯线损伤

导线剥线时,芯线损伤,会降低导线强度。在振动过程中,可能造成导线从损伤处断裂。故障件导线断裂,使用显微镜对其根部断裂处进行观察,如图2所示。



图2 故障导线断裂面及焊点

Fig.2 Fault wire fracture surface and solder joint diagram

如果存在芯线损伤,断面长期暴露,会发生氧化变暗现象。从故障件可知,导线断裂处与焊盘均有7根芯线,与导线应有芯线数量一致,且断裂面清晰。排除本故障件导线有芯线损伤的可能。

2.1.2 焊点及虚焊分析

从图2还可看出,导线断裂处位于绝缘皮根部,而导线与印制板焊接的焊点形貌完好,且焊点处无焊盘脱落、剥离现象,排除故障件焊点虚焊造成导线断裂的可能。电源转换板内印制板上的焊盘为表贴焊盘,与之焊接的导线为高温导线,导线的截面直径为0.36 mm。焊盘引出导线宽度一般为焊盘宽度的1/3~1/2,最小为0.13 mm,应从焊盘中间引出。故障处的焊盘宽度(2.2 mm)大于3倍的导线截面直径,因此故障处焊盘大小的设计与导线规格的选择符合可制造性规范。

2.1.3 导线走线及固定情况

故障件的走线及加固状态如图1所示,工艺文件中有点胶加固要求的细化说明。现场检查故障件实物发现,模块内其余线束上有点胶加固,但是在断裂导线处未点胶,并且操作空间狭小,与旁侧的射频电缆装配存在一定的干涉。

振动试验时,由于加速度原因,焊接点到固定点中间的导线会发生甩动。当外界振动量级较高时,依靠导线自身摆动释放的应力有限,这一系列的因素会引起导线焊点附近应力集中,反复振动过程中产生疲劳,最终就有可能导致导线根部因应力过大而断裂。

2.2 导线振动仿真分析

利用ANSYS仿真软件工具对频率合成器模块进行了有限元建模,通过分析获取其导线断裂处的应力和变形。主要从如下2个角度进行分析。

1)结构振动模态:包括频率和变形模式,评估结构基本动力学特性。

2)随机振动分析:在随机振动条件下,分析结构的随机振动响应情况,并根据 3σ 准则对随机振动响应进行估算,评估结构强度特性。

频率合成器的主体结构由铝合金(5A06)组成,整体尺寸约为185 mm×165 mm×20 mm。主要由盒体、频率合成器单元、印制板和导线等组成。

随机振动试验条件见表1。根据导线的断裂情况,最后选取相对应的方向进行仿真分析。结构通过锁紧条安装到外部结构上,刚性、平面安装。计算中采用的结构材料力学性能参数见表2。

力学分析主要考虑导线一端与印制板焊接良好,另外一端与盒体固定不佳的情况,如图3所示。主要用于观察导线一端不能良好固定的受力情况。

表 1 功能试验量值
Tab.1 Function test value

频率/Hz	试验量值/(g ² ·Hz ⁻¹)
15~102	0.01
102~113	0.6
113~204	0.01
204~226	0.1507
226~306	0.01
306~339	0.0672
339~408	0.01
408~452	0.0378
452~2000	0.01

表 2 结构材料力学性能参数

Tab.2 Mechanical property parameters of structural materials

材料名称	弹性模量 /GPa	泊松比	抗拉强度 /MPa	密度 /(kg·m ⁻³)	零部件
5A06	68	0.33	315	2639	结构件
玻璃钢	14	0.14	338.4	1800	印制板
铜芯	110	0.34	240(软)	8300	导线

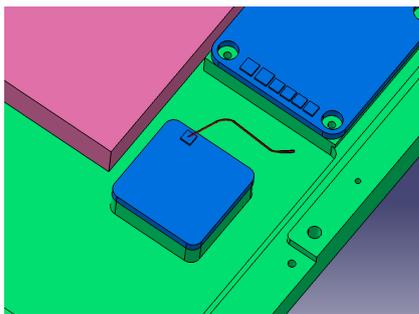


图 3 连接局部示意
Fig.3 Connection part diagram

随机振动激励下,导线的应力和变形云图见图 4,导线焊接面应力云图见图 5。通过仿真计算,导线的大变形量为 1.13 mm。最大变形量出现在自由端,较大位移会对边缘的器件产生不良影响。导线的最大应力为 97.88 MPa,满足导线的强度要求。本次仿真最大应力位置在导线焊接处,而表贴导线的焊接强度在 45 MPa 左右,因此,焊接处已经断裂脱落。综合仿真分析的结果,如果导线一端与印制板焊接良好,另外一端固定不佳,将会在焊接处产生较大的集中应力,在长时间振动条件下会造成导线断裂。

3 解决措施及验证情况

通过以上分析以及现场实物检查,为了防止此类情况出现,采取以下改进措施。

3.1 设计优化

为避免印制板上焊接的低频导线与旁侧的射频电缆产生干涉,低频导线需从印制板上方走线。对设计图纸进行了更改,设计图纸优化措施如下:接线图

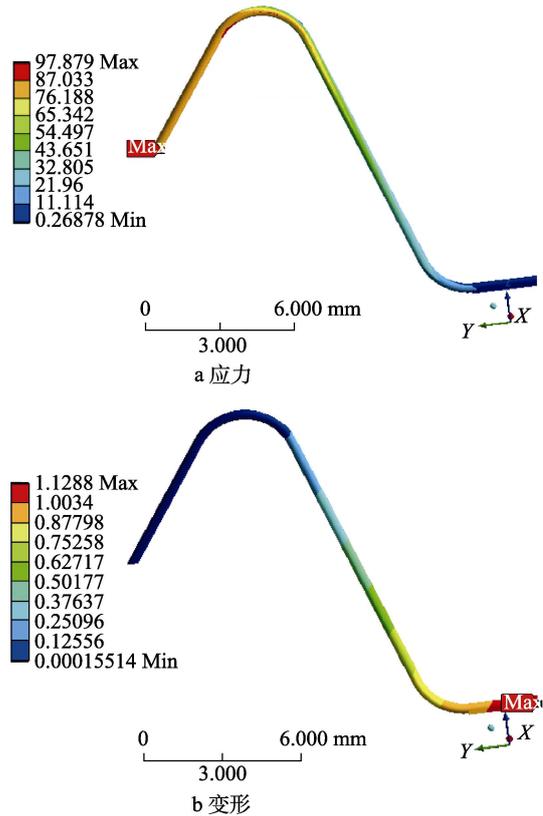


图 4 随机振动激励下的导线应力和变形云图
Fig.4 (a) Stress and (b) deformation nephogram of conductor under random vibration excitation

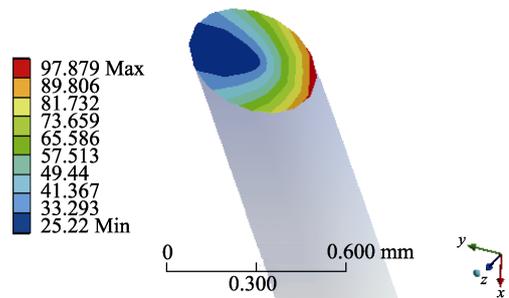


图 5 随机振动激励下的导线焊接面应力云图
Fig.5 Stress nephogram of wire welding surface under random vibration excitation

的技术要求中,增加印制板焊点用 3145 硅橡胶固定,允许导线从印制板上方走线;将接线图的技术要求完整添加到装配图的技术要求中。

3.2 工艺优化

细化工艺文件,增加工艺简图,明确模块内低频导线走线路径及点胶加固位置。根据设计改进点,对模块内导线走线的要求进行细化。明确点胶的操作要求,固定点距离焊点应不超过 20 mm。对线缆、半刚性电缆等沿走线方向每隔 30~60 mm 固定一次,点胶时胶体必须透底,且与支撑处有效粘连。增加工艺简图,明确导线走线及点胶位置。

通过以上改进,可更直观地指导操作人员,有效

提高产品制造的一致性与可靠性。

3.3 现场操作培训

将此故障现象作为案例,对现场操作规范、纪律及本模块涉及的各项操作注意事项进行培训。

3.4 验证情况

实施改进后,抽选后续模块,按照试验故障时的振动试验条件对分机进行振动试验,设备状态正常。

4 结语

通过分析某机载电子设备振动试验下功能失效的原因,逐级分析定位到故障器件。结合理论分析,运用仿真软件,找到了振动故障的原因。从设计、工艺、操作3个方面提出了解决措施,并得到了验证,有效地提高了设备的可靠性,可作为同类故障处理参考。

参考文献:

[1] 张云,吴圣陶,曾柯杰,等.某电子设备随机振动疲劳寿命仿真分析[J].电子机械工程,2016(6):25-28.
ZHANG Yun, WU Sheng-tao, ZENG Ke-jie, et al. Analysis of random vibration fatigue life of a electronic equipment[J]. Electro-mechanical engineering, 2016(6): 25-28.

[2] 吕召会.电子设备机柜振动试验夹具设计与模态分析[J].机械设计与制造工程,2020(2):9-14.
LV Zhao-hui. Structure design and modal analysis of a vibration test fixture for one electronics cabinet[J]. Machine design and manufacturing engineering, 2020(2): 9-14.

[3] GJB 451A—2005, 可靠性维修性保障性术语[S].

GJB 451A—2005, Reliability maintainability and supportability terms[S].

[4] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239—2001, General requirements for materiel environmental engineering[S].

[5] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB 150A—2009, Laboratory environmental test methods for military materiel[S].

[6] 程国辉,金大元.某星载电子设备混频器振动试验失效分析[J].电子产品可靠性与环境试验,2016(1):21-25.
CHENG Guo-hui, JIN Da-yuan. Failure analysis of a mixer of satellite-borne equipment[J]. Electronic product reliability and environmental testing, 2016(1): 21-25.

[7] 王腾,郁大照,朱蒙,等.海军某型飞机典型电连接器失效分析[J].装备环境工程,2019,16(12):28-35.
WANG Teng, YU Da-zhao, ZHU Meng, et al. Failure analysis of electrical connectors connectors on naval aircraft[J]. Equipment environmental engineering, 2019, 16(12): 28-35.

[8] 张锡祥.现代雷达对抗技术[M].北京:国防工业出版社,1998.
ZHANG Xi-xiang. Modern radar electronic countermeasures technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998.

[9] 毛亮,胡劲松.一种机载设备振动夹具的优化设计方法[J].机械研究与应用,2016(2):138-140.
MAO Liang, HU Jing-song. An optimization method of airborne equipment vibration fixture[J]. Mechanical research & application, 2016(2): 138-140.

[10] 赵光伟.提升光电编码器湿热环境适应性方法研究[J].装备环境工程,2015,12(1):126-130.
ZHAO Guang-wei. Research on method to improve the adaptability of photoelectric encoder in hydrothermal environment[J]. Equipment environmental engineering, 2015, 12(1): 126-130.