

机载电子设备印制电路板环境适应性研究

刘成臣¹, 张洪彬², 赵连红¹, 金涛¹, 王浩伟¹

(1.中国特种飞行器研究所 结构腐蚀防护与控制航空科技重点实验室, 湖北 荆门 448035;
2.工业和信息化部电子第五研究所, 广州 440106)

摘要: **目的** 考察机载电子设备印制电路板在西沙环境下的环境适应性。**方法** 开展西沙海洋环境下 2 种印制电路板的棚下暴露实验, 暴晒实验时间为 3 年, 分别通过外观、绝缘电阻、耐压性、品质因数研究其老化特点。**结果** 两类印制电路板样品的绝缘电阻和品质因数呈总体下降趋势, PCB2 的绝缘电阻下降相对较小, PCB1 样本耐压测试出现击穿并有明显的腐蚀情况。**结论** PCB2 工艺体系的环境适应性能好于 PCB1, 在机载电子设备印制电路板选用过程中推荐优先。

关键词: 印制电路板; 西沙环境; 环境适应性

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.07.013

中图分类号: TJ85 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2017)07-0065-05

Environmental Adaptability of Printed Circuit Board for Airborne Electronic Equipment

LIU Cheng-chen¹, ZHANG Hong-bin², ZHAO Lian-hong¹, JIN Tao¹, WANG Hao-wei¹

(1. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Structural Corrosion Prevention and Control, China Special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China;
2. China Electronic Product Reliability and Environmental Testing Institute, Guangzhou 440106, China)

ABSTRACT: Objective To study on the environmental adaptability of printed circuit board for airborne electronic equipment in Xisha environment. **Method** The exposure test on two kinds of printed circuit boards in Xisha marine environment was carried out by exposure for 3 years, and the aging characteristics were studied by appearance, insulation resistance, pressure resistance and quality factor. **Results** The insulation resistance and quality factor of the two types of printed circuit board samples showed an overall downward trend. PCB2 insulation resistance decreased relatively small. PCB1 sample had breakdown and obvious corrosion in withstand voltage test. **Conclusion** The environmental performance of PCB2 process system is better than PCB1. It is recommended of priority in selecting printed circuit board for airborne electronic equipment.

KEY WORDS: printed circuit board; Xisha environment; environmental adaptability

飞机在海洋环境下服役时长期受高温、高湿、高盐环境的影响, 印制电路板作为机载电子装备的关键部件一般处于内部环境, 盐雾和湿气一旦进入, 将不

易散出, 会长期对印制电路板产生作用, 导致电路板发生腐蚀, 而电路板一个小小的腐蚀都可能使整个设备瘫痪^[1-3]。国内目前对于印制电路板环境适应性研

究较少,主要集中在从盐雾、湿热、霉菌三防的角度研究环境对其的影响,缺乏在恶劣真实自然环境的验证^[4-5]。随着我国飞机在南海布局,对机载电子设备印制电路板的环境适应性提出了更高的要求。文中开展了2种典型机载电子设备印制电路板的西沙环境棚下暴晒试验,采用绝缘电阻、耐压性、品质因数表征其电性能并比较,为机载电子设备印制电路板的选取提供支撑。

1 海洋环境暴露试验

1.1 试验件及试验件条件

印制电路板试验件采用平板试样,试验件尺寸为76 mm×38 mm(见图1),其材料清单及特性见表1。

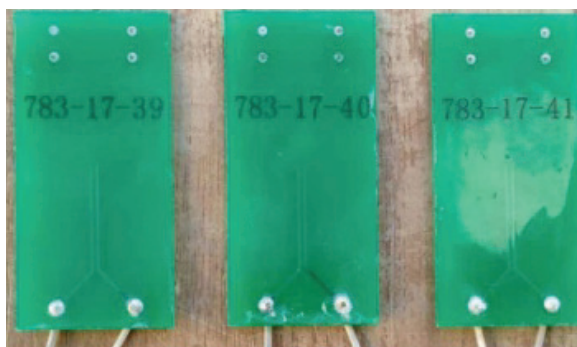


图1 印制电路板试验件

表1 印制电路板试验件清单

| 试件编号 | 试件材料 | 材料特性 | 暴晒周期/月 | 件数 |
|------|---------------------------|------------------------------------|--------|----|
| PCB1 | 环氧玻璃布基板(FR-4)有机硅树脂漆类 | 优异的热氧化稳定性、绝缘性能、防锈、耐寒、耐臭氧性 | 6 | 3 |
| | | | 12 | 3 |
| | | | 18 | 3 |
| | | | 24 | 3 |
| | | | 30 | 3 |
| | | | 36 | 3 |
| PCB2 | 环氧玻璃布基板(FR-4) DCA200H三防清漆 | 操作温度宽泛,可以室温固化,优异的耐化学品和耐溶剂性能,返工时可焊透 | 6 | 3 |
| | | | 12 | 3 |
| | | | 18 | 3 |
| | | | 24 | 3 |
| | | | 30 | 3 |
| | | | 36 | 3 |

该次试验选择西沙海域环境开展棚下暴露试验,试验周期为3年。西沙海洋环境的高温、高湿、高盐等恶劣环境是飞机在沿海服役环境面临的最严酷的挑战,能够真实反映印制电路板的环境适应性。

1.2 试验检测

印制电路板试验样品大气暴露试验按照 GJB/T

8683—1998《机械电子产品及元器件海洋环境大气暴露试验方法和导则》进行。在具有百叶窗的半封闭试验棚下,印制电路板垂直悬挂。暴露试验周期为:样品按第6,12,18,24,30,36个月的试验周期进行取样。印制电路板的检测除表面拍照外,主要关注其电性能的变化,包括绝缘电阻、耐压性、品质因数。测试设备见表2。

表2 测试设备清单

| 序号 | 名称 | 型号 | 测试项目 | 测试方法 |
|----|-------|----------|------|--|
| 1 | 高阻仪 | 2339B | 绝缘电阻 | GB/T 1410—2006 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法 |
| 2 | 阻抗分析仪 | WK 6500B | 品质因数 | GB/T 1409—2006 测量电气绝缘材料在工频、音频、高频(包括米波波长在内)下电容率和介电损耗因数的推荐方法 |
| 3 | 耐压测试仪 | CS267 4A | 耐压 | GB/T 1408.1—2006 绝缘材料电气强度试验方法 |

2 结果与讨论

印制电路板样品的性能检测周期为6,12,18,24,36个月,检测项目包括外观、绝缘电阻、耐压性、品质因数,检测结果见表3。

2.1 性能变化

根据表3中印制电路板样品性能测试结果,绘制绝缘电阻和品质因数的变化趋势图,如图2、图3所示。

由图2和图3可知,在进行自然暴露试验时间为36个月,PCB1与试验前相比绝缘电阻下降3个数量级,相对而言,PCB2的绝缘电阻下降较小,与试验前相比下降1个数量级。另外,随着自然暴露试验的开展,两类印制电路板品质因数总体均呈下降趋势。PCB2在自然暴露试验过程中绝缘电阻、品质因数均有明显的先上升后下降的变化趋势。这是由于DCA200H三防清漆的固化时间较长,在自然暴露初期固化不彻底,西沙的高温环境导致涂层出现发黏现象。随着试验的开展,树脂的交联度不断增加,树脂发黏现象消失,绝缘电阻和品质因数升高。试验继续开展,在高温、高湿、高盐雾的环境下,树脂发生降解,绝缘电阻和品质因数不断下降。同时表3所示,PCB1在试验3个月后介质耐压测试即出现击穿,而PCB2整个试验过程均正常。

表 3 印制电路板样品检测数据

| 样品编号 | 试验周期/月 | 性能测试 | | | |
|------|--------|----------------------|-------------------------|-------------------------|------|
| | | 外观 | 绝缘电阻/ Ω | 介质耐电压 | 品质因数 |
| PCB1 | 初始 | 完好 | 1.9446×10^{11} | 正常 | 58.6 |
| | 3 | 无明显变化 | 3.0028×10^{10} | 击穿 | 27.6 |
| | 6 | 线路轻微腐蚀 | 4.5137×10^9 | 持续火花、击穿 | 23.1 |
| | 12 | 线路、镀覆孔严重腐蚀 | OVLD | 击穿 | 10.7 |
| | 18 | 有腐蚀产物沉积、线路金属露出 | 9.9913×10^8 | 击穿 | 12.6 |
| | 24 | 有腐蚀产物沉积、线路金属露出 | 7.2332×10^8 | 击穿 | 19.9 |
| | 30 | 有腐蚀产物沉积、线路金属露出 | 4.2937×10^8 | 击穿 | 13.7 |
| | 36 | 有腐蚀产物沉积、线路金属露出 | 1.0526×10^8 | 击穿 | 10.9 |
| | PCB2 | 初始 | 完好 | 1.9006×10^{10} | 正常 |
| 3 | | 涂层发黏 | 2.9321×10^{11} | 正常 | 34.8 |
| 6 | | 涂层发黏、脱皮、起泡 | 1.7672×10^{11} | 正常 | 16.1 |
| 12 | | 未见明显腐蚀，防护涂层出现发黏、脱皮现象 | 1.5845×10^{11} | 正常 | 24.6 |
| 18 | | 无明显腐蚀，防护涂层出现发黏、脱皮现象 | 4.7955×10^{11} | 正常 | 49.9 |
| 24 | | 无明显腐蚀，有防护涂层脱皮现象 | 1.1891×10^{10} | 正常 | 49.8 |
| 30 | | 无明显腐蚀，有防护涂层脱皮现象 | 8.0433×10^9 | 正常 | 42.7 |
| 36 | | 无明显腐蚀，有防护涂层脱皮现象 | 2.6782×10^9 | 正常 | 37.4 |

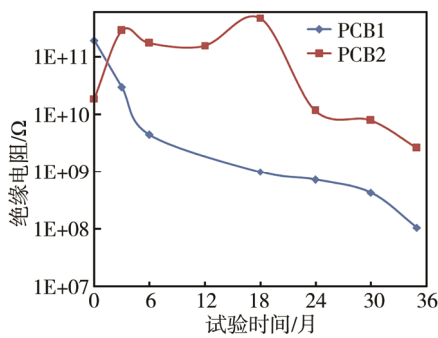


图 2 绝缘电阻变化趋势

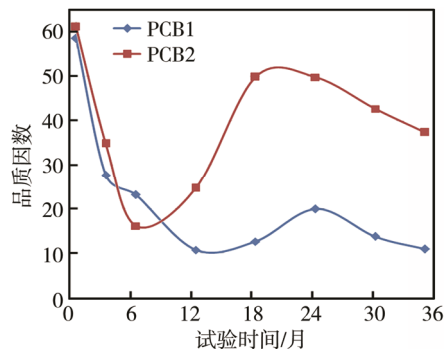


图 3 品质因数变化趋势

2.2 外观变化

外观拍照如图 4 和图 5 所示，PCB1 在开展暴露试验 6 个月后开始出现腐蚀，12 个月严重腐蚀，PCB2 在整个试验过程中未见明显腐蚀。

项目组通过金相显微镜对印制电路板的腐蚀状况进一步确认，结果如图 6 所示。PCB1 样品在开展自然暴露试验 6 个月，线路边缘出现腐蚀。分析原因，电路板的腐蚀一般分为 4 个过程，分别是表面涂层损伤阶段、涂层金属界面腐蚀扩展阶段、金属材料腐蚀扩展阶段和元器件芯腔内腐蚀阶段。表面涂层损伤阶段主要是由于线路边缘涂层相比其他部位薄，涂层微观空隙大且应力集中，湿气和其他腐蚀介质容易从界面渗入，导致涂层吸附力降低，从而使得涂层出现溶胀、起泡等现象。涂层的损伤为涂层金属界面腐蚀扩展提供了条件，涂层下的金属材料发生电化学腐蚀，表现为缝隙腐蚀的特征，缝内局部环境日趋恶劣会加速腐蚀的扩展，故电路板的腐蚀呈现明显的向纵深方向发展的趋势，并使得金属材料形成明显的点蚀特征，如图 4b 所示。当腐蚀进行到一定程度，腐蚀介质就会进入元器件腔体内部，引发内引线和外引线组成腐蚀原电池，导致电性能下降。

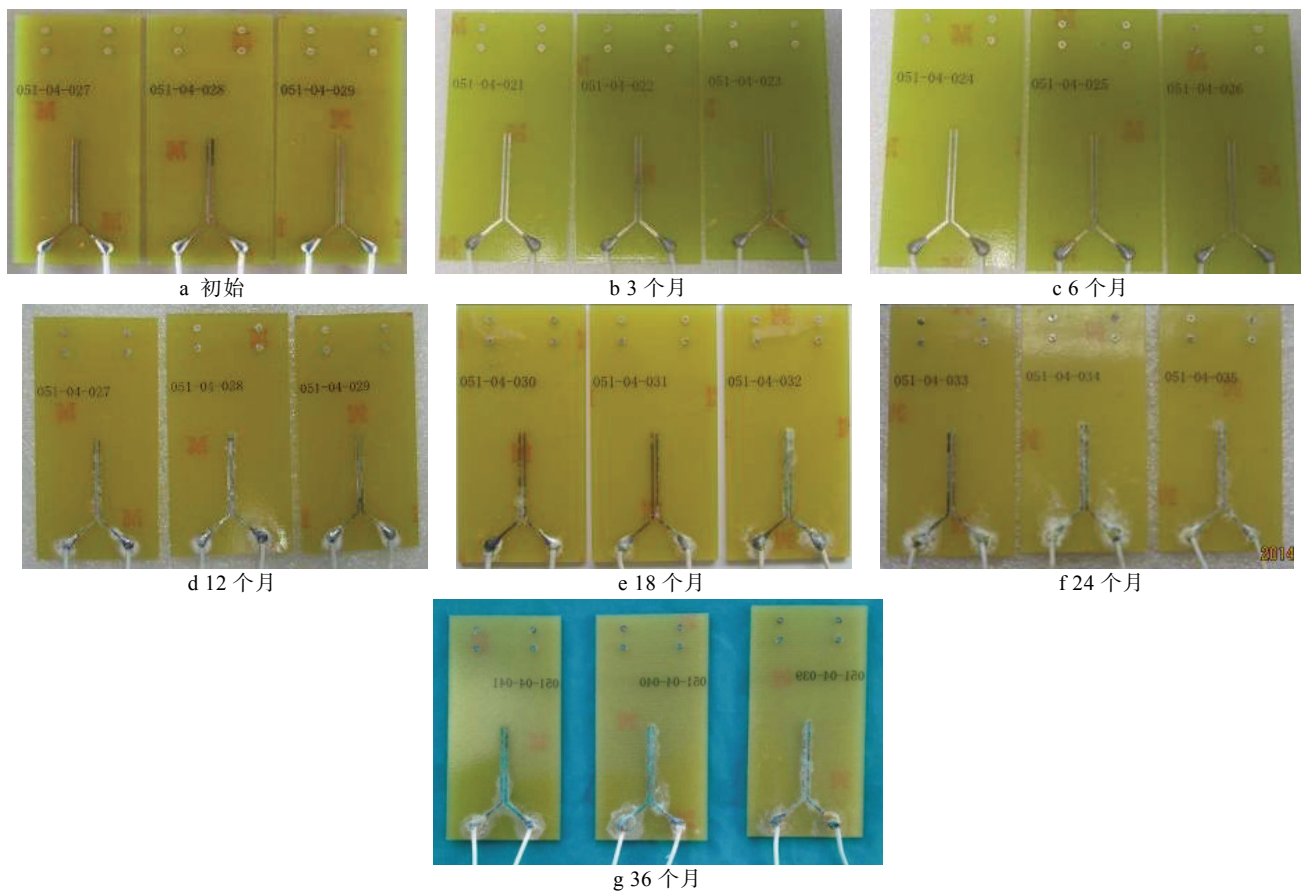


图4 印制板试验样品 PCB1 照片

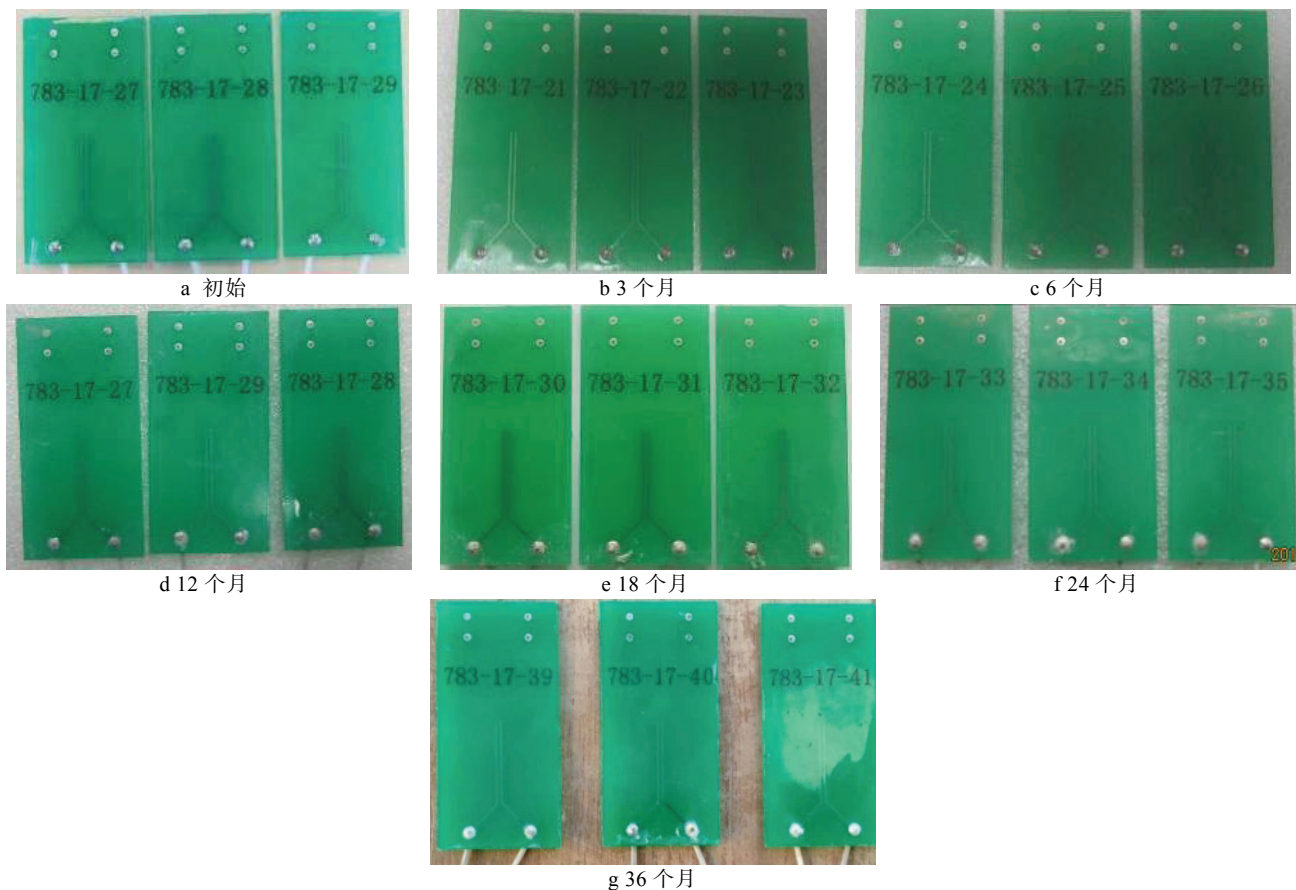


图5 印制板试验样品 PCB2 照片

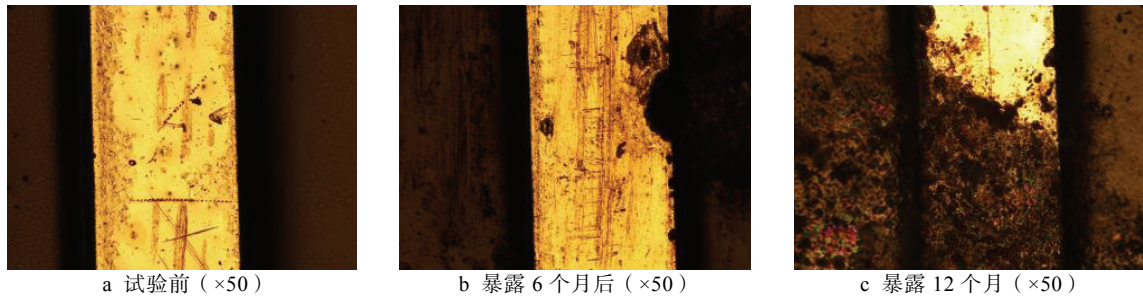


图 6 PCB1 样品暴露微观照片

3 结论

1) 在西沙海域环境开展 2 种印制电路板的 3 年棚下暴露实验, 通过测试外观、绝缘电阻、耐压性、品质因数检测其性能受环境作用的变化规律。结果表明, 2 类印制电路板样品的绝缘电阻和品质因数呈总体下降趋势, PCB2 的绝缘电阻下降相对较小, PCB1 样本耐电压测试出现击穿并出现明显的腐蚀情况。

2) PCB2 工艺体系的环境适应性能好于 PCB1, 在机载电子设备印制电路板选用过程中推荐优先。

参考文献:

- [1] 李敏伟, 傅云, 李明, 等. 典型航空印刷电路板盐雾环境腐蚀损伤规律研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(6), 29—35.
- [2] 邹士文, 肖葵, 董超芳, 等. 霉菌环境下喷锡处理印制电路板的腐蚀行为[J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(3): 810—815.
- [3] 曲利新. 增强军用电路板组件环境适应性的一种方法[J]. 现代电子技术, 2010, 33(21): 41—43.
- [4] 许爱斌, 郑廷圭. PCB 的腐蚀失效及其分析[J]. 可靠性物理与失效分析技术, 2005(2): 28—30.
- [5] 袁敏, 邹凡, 王忠. 热带海洋环境条件对印制电路板性能参数的影响分析[J]. 环境技术, 2014(3): 21—23.
- [6] 贾伟峰, 段华波, 侯坤, 等. 废电路板非金属材料再生利用技术现状分析[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(2): 196—198.
- [7] 陈和祥. 印制电路板生产中油墨废水处理技术研究[J]. 环境科技, 2010, 23(1): 30—32.
- [8] 张仁群, 岳涛. 大型电子系统显示控制台环境适应性设计[J]. 环境技术, 2011, 35(4): 22—24.
- [9] 杜迎. 盐雾腐蚀对不同封装形式集成电路性能的影响[J]. 电子与封装, 2006, 6(2): 24—27.
- [10] 杜迎, 朱卫良. 盐雾对集成电路性能的影响[J]. 半导体技术, 2004, 29(5): 55—56.