

印制电路板海洋环境试验与实验室 环境试验相关性研究

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** 研究机载电子设备印制电路板西沙海洋大气环境与实验室环境试验的相关性。**方法** 在西沙海域环境下开展两种印制电路板的棚下暴露试验, 暴晒试验时间为 3 年, 同时在实验室开展盐雾试验, 分别通过测试绝缘电阻、品质因数研究两种试验环境的相关性。**结果** 将以绝缘电阻、品质因数为基准相关性评价结果进行平均, 得出印制电路板实验室加速试验和自然暴露试验存在着强相关。两种样品的加速系数分别是 3.5, 5.15。**结论** 建立了印制电路板在西沙海洋环境试验和实验室盐雾环境试验的相关性, 可为后续西沙环境试验的加速处理提供依据。

关键词: 印制电路板; 暴露试验; 加速试验; 相关性

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.02.014

中图分类号: TJ07; TG174.461

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)02-0074-05

Correlation between Marine Environmental Test and Laboratory Environmental Test of Printed Circuit Board

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 correlation between atmospheric environment test of Xisha Ocean and laboratory environmental test of printed circuit board for airborne electronic equipment. **Methods** Shed exposure test for two kinds of printed circuit board were carried out in the Xisha sea environment for 3 years, while the salt spray tests were carried out in the laboratory, respectively, through the test appearance, insulation resistance, quality factor to study the correlation between the two test environments. **Results** By averaging the assessment result based on insulation resistance and quality factor, the results show that the laboratory accelerated test of the printed circuit board and the natural exposure test were strongly correlated. The accelerating coefficients of the two materials were 3.5 and 5.15 respectively. **Conclusion** The correlation between the printed circuit board in the Xisha marine environment test and the laboratory salt spray environmental test is established, which can provide the basis for the accelerated treatment of the subsequent environmental test in Xisha.

KEY WORDS: printed circuit board; exposure test; accelerated test; correlation

飞机在海洋环境下服役时长期受高温、高湿、高盐环境因素的影响。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^[1-6]。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。飞机寿命一般在 30 年左右，在自然环境下评估印制电路板的环境适应性需要很长的周期，无法满足工程研制需求，因此必须采用加速试验的方法，以期在短时间内达到评估飞机服役若干年后印制电路板的性能，而建立加速试验和自然环境试验之间的相关性是评估的重要前提^[7-10]。

文中在西沙海域环境开展了两种典型机载电子设备印制电路板的棚下暴露试验和实验室盐雾试验，通过绝缘电阻、品质因数测试结果，研究了两种试验环境的相关性。

1 试验件

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

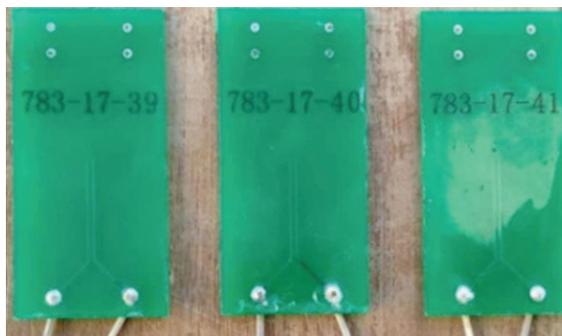


图 1 印制电路板试验件

表 1 印制电路板试验件清单

试件编号	试件材料	材料特性
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、电 绝缘性能、防锈、耐寒、 耐臭氧性
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

2 自然环境试验

西沙永兴岛自然暴露试验站，属于典型的热带海洋性气候，具有高温、高湿、强辐射且日照时间长、高盐雾的气候特点，环境数据见表 2。较适用于各类机载设备印制电路板对海洋环境适应性的考核。采用棚下暴露的方式进行试验，检测周期为初始，6，12，18，24，30，36 个月，每次检测 3 件，检测数据见表 3。

3 实验室加速试验

影响印制电路板腐蚀的环境因素包括温度、湿度、盐雾等，其中盐雾对印制电路板的影响最为显著。盐雾附在印制电路板涂层表面后，小体积的氯离子容易穿透印制电路板防护涂层中的微孔，并渗透到覆铜箔的印制电路层，引起材料的老化和电子电路金属物的腐蚀。因此选用盐雾试验作为其加速腐蚀试验方法，试验条件参考 GJB1 50.11A—2009《军用设备实验室环境试验方法盐雾试验》，试验条件：试验温度为 (35±2) °C，盐溶液质量分数为 5%±1%，盐溶液 pH 值为 6.5~7.2，盐雾沉降率为 (1.0~2.0) mL/(80 cm²·h)；喷雾方式为连续。检测数据见表 4。

表 2 西沙年均环境数据

项目	月份												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
太阳 辐照 量	45°角总辐射 曝辐量/(MJ·m ⁻²)	523.5	680.5	664.1	674.7	532.0	378.4	401.8	509.3	470.6	521.2	524.7	307.3
	紫外辐射曝 辐量/(MJ·m ⁻²)	25.6	28.4	30.2	33.0	33.4	24.1	24.5	25.2	22.5	20.8	16.9	15.3
温度月平均值/°C	24.1	24.9	26.4	28.5	29.9	29.9	29.3	29.1	28.7	26.6	26.6	24.3	
相对湿度月平均值/%	72	78	77	78	79	79	79	82	82	76	82	77	
盐雾沉降率/(mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	1.815	2.120	0.667	0.634	0.630	2.505	1.251	3.041	1.871	3.444	4.801	3.629	

表3 暴露试验样品性能检测数据

样品编号	试验周期/月	性能测试		
		外观	绝缘电阻/ Ω	品质因数
PCB1	初始	完好	1.9446×10^{11}	58.6
	3	无明显变化	3.0028×10^{10}	27.6
	6	线路轻微腐蚀	4.5137×10^9	23.1
	12	线路、镀覆孔严重腐蚀	9.9913×10^8	10.7
	18	有腐蚀产物沉积、线路金属露出	9.9913×10^8	12.6
	24	有腐蚀产物沉积、线路金属露出	7.2332×10^8	19.9
	30	有腐蚀产物沉积、线路金属露出	4.2937×10^8	13.7
	36	有腐蚀产物沉积、线路金属露出	1.0526×10^8	10.9
PCB2	初始	完好	3.5436×10^{11}	61.2
	3	涂层发黏	2.9321×10^{11}	34.8
	6	涂层发黏、脱皮、起泡	1.7672×10^{11}	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}	24.6
	18	无明显腐蚀, 防护涂层出现发黏、脱皮现象	1.7955×10^{11}	49.9
	24	无明显腐蚀, 有防护涂层脱皮现象	1.1891×10^{10}	49.8
	30	无明显腐蚀, 有防护涂层脱皮现象	8.0433×10^9	42.7
	36	无明显腐蚀, 有防护涂层脱皮现象	2.6782×10^9	37.4

备注: 品质因数是无功功率与有功的比值, 表征绝缘材料在电场作用下, 由于介质电导和介质极化的滞后效应, 在其内部引起的能量损耗, 品质因数是介电损耗因数的倒数。介电损耗因数的测量方法见 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

表4 加速试验样品性能检测数据

样品编号	试验周期/d	性能测试		
		外观	绝缘电阻/ Ω	品质因数
PCB1	初始	完好	3.5239×10^{10}	58.8
	4	焊盘有较轻微腐蚀	2.4877×10^{10}	44.7
	8	线路轻微腐蚀, 涂覆层有白斑, 线路出现模糊	1.3289×10^{10}	30.2
	12	出现斑状腐蚀	1.1341×10^{10}	37.7
PCB2	初始	完好	1.7532×10^{11}	64.5
	4	无明显变化	1.2894×10^{11}	24.7
	8	涂覆层有较多点状孔, 涂层轻微发黏	7.2149×10^{10}	20.4
	12	涂覆层有白斑, 涂层发黏	5.6722×10^{10}	30.0

表5 相关度的判断

相关系数	相关强度
0.8~1.0	极强相关
0.6~0.8	强相关
0.4~0.6	中等程度相关
0.2~0.4	弱相关
0~0.2	极弱相关或无相关

4 相关性评价

为了准确获知两种环境的相关性, 从相关度和加速性两个方面进行表征, 其中相关度采用了秩相关系数法。秩相关系数 R 越接近 1, 相关度越好, 即两种试验方法对材料的影响规律是基本一致的, 相关度的判断见表 5。加速性以绝缘电阻、品质因数的变化量为指标。

4.1 以绝缘电阻为基准

以绝缘电阻为基准，实验室加速试验和自然暴露试验的相关度计算见表 6。

由表 6 可看出，PCB1、PCB2 样品实验室加速试验和自然暴露试验的秩相关系数均为 1.00，为极强相关，说明以绝缘电阻为基准评价实验室加速试验和自然暴露试验相关强度为极强相关。

4.2 以品质因数为基准

以品质因数为基准，实验室加速试验和自然暴露

试验的相关度计算见表 7。

由表 7 可看出，PCB1、PCB2 样品实验室加速试验和自然暴露试验的秩相关系数均为 0.80，为强相关，说明以品质因数基准为评价实验室加速试验和自然暴露试验相关强度为强相关。

综合表 6 和表 7，可以认为电子设备印制电路板西沙环境试验与实验室盐雾试验两者之间为强相关。

4.3 加速性评价

本项目以绝缘电阻和品质因数的变化量为基准进行加速性评价，评价结果见表 8。

表 6 以绝缘电阻为基准的相关度评价

样品 编号	实验室加速试验			自然暴露试验			秩差	秩相关 系数
	试验时间/d	绝缘电阻/ Ω	秩	试验时间/月	绝缘电阻/ Ω	秩		
PCB1	初始	3.5239×10^{10}	1	初始	1.9446×10^{11}	1	0	1.00
	4	2.4877×10^{10}	2	3	3.0028×10^{10}	2	0	
	8	1.3289×10^{10}	3	6	4.5137×10^9	3	0	
	12	1.1341×10^{10}	4	12	9.9913×10^8	4	0	
PCB2	初始	1.7532×10^{11}	1	初始	3.5436×10^{11}	1	0	1.00
	4	1.2894×10^{11}	2	3	2.9321×10^{11}	2	0	
	8	7.2149×10^{10}	3	6	1.7672×10^{11}	3	0	
	12	5.6722×10^{10}	4	12	1.5845×10^{11}	4	0	

表 7 以品质因数为基准的相关度评价

样品 编号	实验室加速试验			自然暴露试验			秩差	秩相关 系数
	试验时间/d	品质因数 (1 MHz)	秩	试验时间/月	品质因数 (1 MHz)	秩		
PCB1	初始	58.8	1	初始	58.6	1	0	0.80
	4	44.7	2	3	27.6	2	0	
	8	30.2	4	6	23.1	3	-1	
	12	37.7	3	12	10.7	4	1	
PCB2	初始	64.5	1	初始	61.2	1	0	0.80
	4	24.7	3	3	34.8	2	-1	
	8	20.4	4	6	16.1	4	0	
	12	30.0	2	12	24.6	3	1	

表 8 加速性评价

样品 编号	绝缘电阻变 化数量级	实验室加速 试验时间/d	自然暴露试 验时间/d	加速倍 数 AF_1	品质因数 变化量	实验室加速 试验时间/d	自然暴露试 验时间/d	加速倍 数 AF_2
PCB1	0.1	12	30	2.5	21.1	12	54	4.5
PCB2	-0.6	12	40	3.3	34.5	12	84	7

由表 8 可知，以绝缘电阻为基准，得出 PCB1、PCB2 样品实验室加速试验的加速系数分别为 2.5、3.3；以品质因数变化为基准，得出 PCB1、PCB2 的加速系数分别为 4.5、7，平均加速系数为 3.5、5.15，说明该实验室加速试验方案对 PCB2 的加速效果更加明显。

5 结论

1) 通过秩相关系数法说明了电子设备印制电路板西沙环境试验与实验室盐雾试验两者之间的强相关性。

2) 以绝缘电阻和品质因数的变化程度为基准评价得出实验室加速试验方法对 PCB1、PCB2 样品的加速系数为 3.5, 5.15。可为后续西沙环境试验的加速处理提供依据。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 孙海龙, 王晓慧. 舰载电子设备三防密封设计技术综述[J]. 装备环境工程, 2008, 5(5): 49-52.
- [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] 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.
- [7] 刘文琰, 李玉海, 陈群志, 等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(1): 109-112.
- [8] 刘文琰, 李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京: 航空科学出版社, 2004.
- [9] 刘文琰, 贺小帆. 飞机结构腐蚀/老化控制与日历延寿技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [10] 刘成臣, 王浩伟, 杨晓华. 不同材料在海洋大气环境下的加速环境谱研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(2): 18-24.