

## 环境试验与评价

# 某海岛环境下典型机载设备防护涂层 耐老化性试验研究

刘成臣<sup>1</sup>, 张洪彬<sup>2</sup>, 赵连红<sup>1</sup>, 金涛<sup>1</sup>, 王浩伟<sup>1</sup>

(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 研究某海岛环境下 6 类典型机载设备表面涂层的耐老化性能。方法 在某海岛环境开展 6 类典型机载设备表面涂层的户外和棚下暴露试验, 试验时间为 3 年, 分别通过测试外观、光泽度、色差研究其老化特点。结果 户外试验相比棚下试验, 所有试验样品均表现出更加明显的性能退化, 在光泽度变化方面, C1 和 C6 变化最小, 在色差变化方面, C4 变化最小。结论 在机载设备选用涂层材料时, 注重光泽度优先选用 C1 和 C6, 注重保持颜色优选 C4。

**关键词:** 机载设备; 涂层; 海岛环境耐老化性能

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.09.005

**中图分类号:** TJ07; TG174.461

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)09-0022-07

## Experimental Study on Aging Resistance of Protective Coatings for Typical Airborne Equipment in an Island Environment

LIU Cheng-chen<sup>1</sup>, ZHANG Hong-bin<sup>2</sup>, ZHAO Lian-hong<sup>1</sup>, JIN Tao<sup>1</sup>, WANG Hao-wei<sup>1</sup>

(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 the aging resistance of surface coating of 6 types of typical airborne equipment in an island environment. **Methods** Outdoor and shed exposure tests for surface coating of 6 types of typical airborne equipment were carried out for 3 years in an island environment to research its aging characteristics by testing appearance, gloss and color. **Results** In the outdoor experiment, all the test samples showed more obvious degradation of performance, among which C1 and C6 were the best in outdoor and shedding, and C4 had the least change in color difference. **Conclusion** In selecting airborne equipment of surface coating, C1 and C6 should be preferred if glossiness is emphasized; C4 should be selected, if color is emphasized.

**KEY WORDS:** airborne equipment; coating; island environment; aging-resistance performance

飞机在海洋环境下服役时长期受高温、高湿、高盐环境的作用, 涂层作为机载装备最重要的防护措施, 对于机载装备的防腐蚀能力具有决定性的影响<sup>[1-5]</sup>。国内目前对于飞机蒙皮涂层的研究较多, 机载设备涂层由

于其基材及应用部位的特殊性, 目前的研究数据不适合用于评价其环境适应性。随着我国飞机在南海布局, 对机载设备的环境适应性提出了更高的要求<sup>[6-11]</sup>。在西沙海域环境开展 6 类典型机载设备表面基材及

收稿日期: 2017-03-14; 修订日期: 2017-03-20

作者简介: 刘成臣(1984—), 男, 湖北荆门人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为飞机结构抗腐蚀设计。

涂层的户外和棚下暴露试验，试验时间为 3 年，分别通过测试外观、光泽度、色差研究其老化特点，为机载设备涂层的选取提供支撑。

## 1 海洋环境暴露试验

### 1.1 试验件及试验件条件

涂层试样尺寸为：150 mm×75 mm×2 mm（见图 1），其组分见表 1。



图 1 涂层试验件

该次试验选择西沙海域环境同时开展户外和棚下暴露试验，试验周期为 3 年。西沙海域的高温、高湿、高盐等恶劣环境是飞机在沿海服役环境面临的严酷的挑战，能够真实反映设备表面基材及涂层在海洋腐蚀环境下的耐老化性能。

涂层试验样品按照 GB/T 9276—1996《涂层自然气候暴露试验方法》进行户外大气暴露试验和棚下试验<sup>[12]</sup>。户外大气暴露试验的样品在户外朝南与水平面 45°角放置，无背板暴露。棚下试验样品放在具有百叶窗的半封闭试验棚下，平板试样垂直放置。

### 1.2 试验检测

涂层样品按 3, 4, 6, 12, 18, 24, 30, 36 个月的试验周期进行取样。每次取样时，会对所取试样和暴露架上的其余试样进行拍照。完成拍照后，取回的涂层样品按照标准进行外观检查，检查项目包括失光、变色、粉化、裂纹、起泡、斑点、生锈、脱落等，具体的评级方法按照 GB/T 1766—2002《色漆和清漆涂层老化的评级方法》中的规定进行，测试设备清单见表 2。

表 1 涂层试验件组分

编号	基材	前处理（镀层）	底漆	面漆	应用范围
C1	LF21	Al/Ct.O.cd	S06-N-2 锌黄环氧聚氨酯底漆	S04-80 丙烯酸聚氨酯黑无光漆	天线构件
C2	LY12	Al/Ct.O.cd	H06-2 锌黄环氧底漆	A05-9 氨基烘漆	天线构件
C3	玻璃钢板	/	H06-2 锌黄环氧底漆	S04-60 丙烯酸聚氨酯半光漆	天线罩
C4	铝材 5A05	Al/Ct.O.cd	H06-27 锌黄环氧底漆	S04-60 丙烯酸聚氨酯半光漆	机箱机柜
C5	铝材 5A05	Al/Ct.O.cd	H06-2 锌黄环氧底漆	A04-60 氨基烘漆	机箱机柜
C6	铝材 5A05	Al/Ct.O.cd	S06-N-1 锌黄环氧聚氨酯底漆	S04-60 丙烯酸聚氨酯半光漆	机箱机柜

表 2 测试设备清单

序号	名称	型号	测试标准
1	光泽度计	BYK 4446	GB/T 1766—2002
2	色差计	CM-2500D	《色漆和清漆涂层老化的评级方法》中

## 2 结果与讨论

36 个月试验后，外观检测数据见表 3，部分照片见图 2 和图 3。

### 2.1 光泽度变化

户外样品的光泽变化如图 4 所示，在开展自然暴露试验过程中，户外涂层样品的光泽度不断下降，36 个月后失光率均达到 80% 左右。这是由于在暴露试验过程中，由于光氧和热氧作用，涂层表面聚合物的化学键发生断裂，导致表面粗糙度变大，光泽

度降低。部分样品（如 C1, C2 等）在暴露初期光泽度有所升高，这是由于暴露初期在光照、温度、湿度的周期作用下，涂层内应力重新分布，表面更加舒张，使得涂层更加平整，光泽度变大。由图 5 可知，棚下自然暴露试验过程中，涂层受到热氧作用，光泽度也不断下降，36 个月后失光率 30% 左右，低于户外暴露试验结果，表明光照是影响涂层光泽度的关键因素。

对比图 4 和图 5，在暴露试验前 18 个月，户外的涂层样品的光泽度下降速率和幅度很大，其中 C2, C3, C5 的失光率达 80% 以上，而棚下的涂层样品光泽度下降过程较缓，失光率为 10%~20%。在暴露试验 18 个月后，户外涂层样品光泽度下降过程变缓，而棚下涂层样品的光泽度下降速度变大。这说明棚下涂层样品的热氧老化过程较缓，而户外涂层的光氧作用较强，并和热氧老化相互促进，在较短时间内可对涂层表面造成破坏。

表3 样品外观变化评级

编号	试验 时间/月	户外			棚下		
		色差 $\Delta E$	失光率/%	外观评价	色差 $\Delta E$	失光率/%	外观评价
C1	初始	/	/	表面无异常	/	/	表面无异常
	3	/	-32.8	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	/	-13.3	很轻微变色(1), 保护性老化综合评级0级
	4	1.10	-13.6	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	1.20	4.7	很轻微失光(1), 保护性老化综合评级0级
	6	1.59	3.5	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	2.75	6.1	很轻微变色(1), 很轻微失光(1), 保护性老化综合评级0级
	12	3.93	9.8	轻微变色(2), 很轻微失光(1), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级1级	2.02	10.5	很轻微变色(1), 很轻微失光(1), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级1级
	18	5.81	33.8	轻微变色(2), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级	1.89	10.1	很轻微变色(1), 很轻微失光(1), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级1级
	24	8.21	53.0	明显变色(3), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	2.45	9.2	很轻微变色(1), 很轻微失光(1), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级
	30	9.33	65.4	较大变色(4), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级为5级	3.09	11.6	轻微变色(2), 很轻微失光(1), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级为2级
	36	9.69	70.9	较大变色(4), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级为5级	3.77	16.2	轻微变色(2), 轻微失光(2), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级为2级
C2	初始	/	/	表面无异常	/	/	表面无异常
	3	/	-36.3	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	/	8.8	很轻微失光(1), 保护性老化综合评级0级
	4	1.47	-3.8	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	0.73	12.6	很轻微失光(1), 保护性老化综合评级0级
	6	3.09	11.1	很轻微变色(1), 很轻微粉化(1), 很轻微失光(1), 保护性老化综合评级1级	0.79	18.3	轻微失光(2), 保护性老化综合评级0级
	12	7.10	74.7	明显变色(3), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	0.63	20.8	轻微失光(2), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级1级
	18	9.08	81.7	较大变色(4), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	0.98	19.7	轻微失光(2), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级
	24	10.19	72.7	较大变色(3), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	1.43	31.4	很轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级
	30	10.82	81.4	较大变色(3), 完全失光(5), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	1.78	33.3	很轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级
	36	11.56	84.3	较大变色(3), 完全失光(5), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	2.05	35.9	很轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级

续表3

	初始	/	/	表面无异常	/	/	表面无异常
C3	3	/	16.8	很轻微变色 (1), 轻微失光 (2), 保护性老化综合评级0级	/	11.5	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	4	1.66	19.8	很轻微变色 (1), 轻微失光 (2), 很轻微粉化 (1), 保护性老化综合评级1级	0.45	14.2	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	6	1.95	19.2	很轻微变色 (1), 轻微失光 (2), 轻微粉化 (2), 保护性老化综合评级2级	1.00	15.1	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	12	1.71	54.8	很轻微变色 (1), 严重失光 (4), 明显粉化 (3), 保护性老化综合评级3级	1.20	19.1	轻微失光 (2), 很轻微粉化 (1), 保护性老化综合评级1级
	18	2.32	92.5	很轻微变色 (1), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 保护性老化综合评级5级	1.52	18.5	轻微失光 (2), 轻微粉化 (2), 保护性老化综合评级2级
	24	3.89	95.5	轻微变色 (2), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 保护性老化综合评级5级	2.10	35.6	很轻微变色 (1), 明显失光 (3), 轻微粉化 (2), 保护性老化综合评级2级
	30	5.97	94.7	轻微变色 (2), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 保护性老化综合评级5级	4.02	45.7	轻微变色 (2), 明显失光 (3), 轻微粉化 (2), 保护性老化综合评级2级
	36	6.35	95.2	明显变色 (3), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 起泡 (1), 保护性老化综合评级5级	3.89	53.6	轻微变色 (2), 明显失光 (3), 明显粉化 (3), 起泡 (1), 保护性老化综合评级3级
	初始	/	/	表面无异常	/	/	表面无异常
C4	3	/	7.0	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级	/	4.2	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	4	1.03	8.3	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级	0.32	8.2	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	6	1.27	16.1	轻微失光 (2), 很轻微粉化 (1), 保护性老化综合评级1级	0.61	8.1	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	12	0.53	47.2	明显失光 (3), 明显粉化 (3), 保护性老化综合评级3级	0.35	9.7	很轻微失光 (1), 保护性老化综合评级0级
	18	1.82	76.6	很轻微变色 (1), 严重失光 (4), 较重粉化 (4), 保护性老化综合评级4级	1.13	28.5	轻微失光 (2), 很轻微粉化 (1), 保护性老化综合评级1级
	24	1.71	91.7	很轻微变色 (1), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 保护性老化综合评级5级	1.17	28.5	轻微失光 (2), 轻微粉化 (2), 保护性老化综合评级2级
	30	2.88	90.2	很轻微变色 (1), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 保护性老化综合评级5级	1.76	31.3	很轻微变色 (1), 明显变色 (3), 轻微粉化 (2), 保护性老化综合评级2级
	36	3.12	93.2	轻微变色 (1), 完全失光 (5), 严重粉化 (5), 保护性老化综合评级5级	1.98	34.2	很轻微变色 (1), 明显变色 (3), 明显粉化 (3), 保护性老化综合评级3级

续表3

	初始	/	/	表面无异常	/	/	表面无异常
C5	3	/	29.0	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级1级	/	17.9	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 保护性老化综合评级0级
	4	2.99	47.0	很轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(2), 保护性老化综合评级2级	1.75	25.4	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 保护性老化综合评级0级
	6	3.20	65.0	轻微变色(1), 严重失光(4), 较重粉化(4), 保护性老化综合评级4级	1.99	24.8	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级0级
	12	4.81	87.9	轻微变色(2), 完全失光(5), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	2.36	24.4	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级1级
	18	5.34	89.3	轻微变色(2), 完全失光(5), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	2.39	22.6	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级
	24	5.77	89.0	轻微变色(2), 完全失光(5), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	2.81	34.2	很轻微变色(1), 明显失光(3), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级
	30	7.34	89.5	明显变色(3), 完全失光(5), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	3.26	43.9	轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级
	36	6.92	91.5	明显变色(3), 完全失光(5), 严重粉化(5), 起泡(1), 保护性老化综合评级5级	3.37	39.6	轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级
	初始	/	/	表面无异常	/	/	表面无异常
C6	3	/	-0.1	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	/	0.8	无明显变化, 保护性老化综合评级0级
	4	0.68	0	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	0.69	2.1	无明显变化, 保护性老化综合评级0级
	6	0.93	1.4	无明显变化, 保护性老化综合评级0级	1.12	2.9	无明显变化, 保护性老化综合评级0级
	12	2.66	24.1	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级	1.29	10.4	很轻微失光(1), 无其它明显变化, 保护性老化综合评级0级
	18	3.30	43.2	轻微变色(1), 明显失光(3), 明显粉化(3), 保护性老化综合评级3级	1.46	14.3	很轻微失光(1), 无其它明显变化, 保护性老化综合评级0级
	24	6.41	56.2	明显变色(3), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	1.96	23.1	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 很轻微粉化(1), 保护性老化综合评级1级
	30	6.34	62.2	明显变色(3), 严重失光(4), 严重粉化(5), 保护性老化综合评级5级	2.44	29.2	很轻微变色(1), 轻微失光(2), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级
36	6.53	69.5	明显变色(3), 严重失光(4), 严重粉化(5), 起泡(1), 保护性老化综合评级5级	2.35	31.6	很轻微变色(1), 明显失光(2), 轻微粉化(2), 保护性老化综合评级2级	

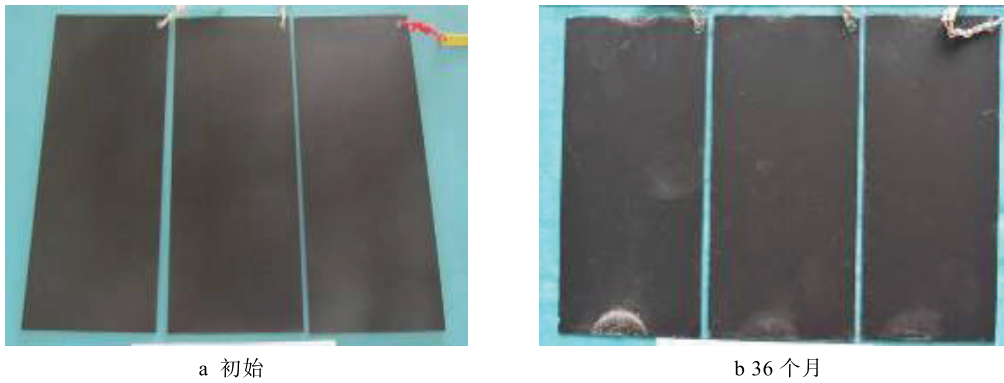


图 2 C1 试验件户外暴露前后照片



图 3 C2 试验件户外暴露前后照片

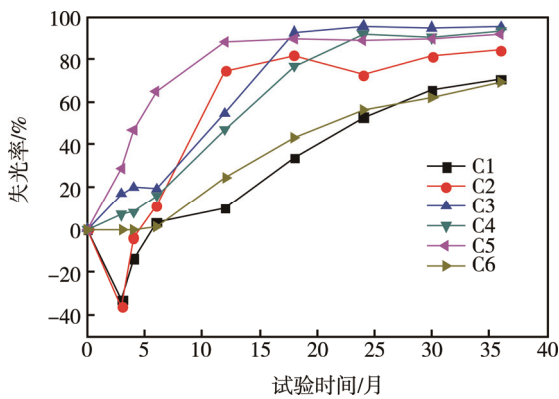


图 4 涂层样品户外暴露试验失光率变化

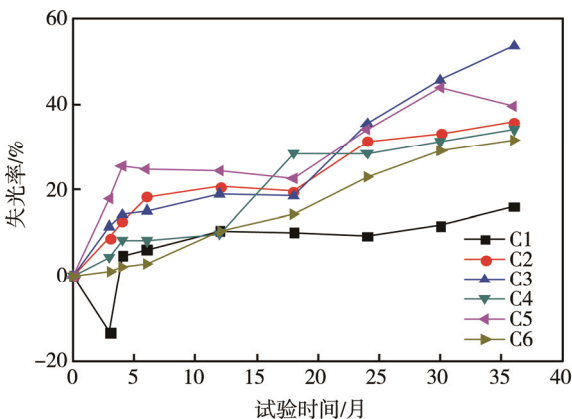


图 5 涂层样品棚下暴露试验失光率变化

### 2.2 色差变化

涂层经过环境作用后表面聚合物发生降解，形成微孔，而水分可通过微孔渗透至涂层内部，导致涂层的颜色发生变化，故色差变化是涂层防护性能的重要指标。户外样品色差变化如图 6 所示，户外暴露试验过程中，涂层样品的色差不断增大。36 个月后变色程度为：C2>C1>C5>C6>C3>C4。棚下涂层样品的变色程度相比户外要小很多，36 个月后变色程度为：C3>C1>C5>C6>C2>C4，说明光照对于涂层的性能具有非常大的影响。

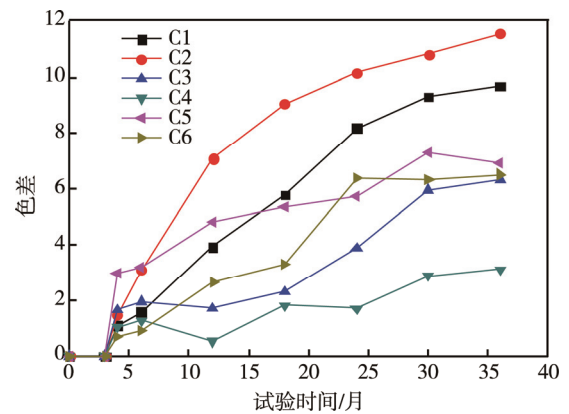


图 6 涂层样品户外暴露试验色差变化

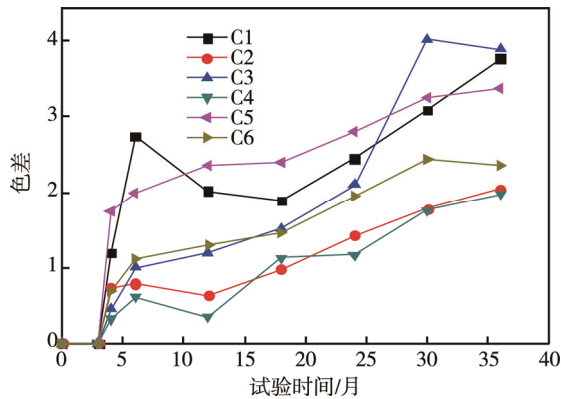


图7 涂层样品棚下暴露试验色差变化

### 3 结论

1) 6类典型机载设备表面基材及涂层的户外和棚下暴露试验,试验时间为3年。分别通过测试外观、光泽度、色差研究其老化特点。户外试验相比棚下试验,所有试验样品均表现出更加明显的性能退化,在光泽度变化方面,C1和C6变化最小,在色差变化方面,C4变化最小。

2) 在机载设备选用涂层材料时,注重光泽度优先选用C1和C6,注重保持颜色优选C4。

#### 参考文献:

[1] 郭敏骁,封志华,徐伟,等. 环境因素与飞机结构寿命

[J]. 装备环境工程,2004,1(5): 73-77.

- [2] 舒畅,刘彬,周漪. 锌铝/富铝复合涂层在海洋环境中的耐蚀性研究[J]. 表面技术,2012,41(5): 56—59.
- [3] 陈伟,唐凌燕,周英. 锌镍合金镀工艺优化及镀层耐腐蚀性的研究[J]. 表面技术,2015,44(2): 110—114.
- [4] 陈月华,江德凤,刘永永. 金属镀金外壳抗盐雾腐蚀工艺的改进[J]. 表面技术,2015,44(6): 93—97.
- [5] 张丹峰,王玉刚,谭晓明. 航空聚氨酯涂层老化分析[J]. 环境技术,2016,34(05): 38-40.
- [6] 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,2008,4(5): 49-52.
- [7] 孙世或,李高原. 高分子材料的气候老化试验技术[J]. 塑料工业,2006(9): 36-39.
- [8] 易平,杨建新,杨秀清,等. 3种高分子材料自然环境多角度暴露对比试验[J]. 表面技术,2007,36(2): 18-20.
- [9] 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,2014,38(3): 21-23.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 张洪彬,刘雅智,蔡汝山,等. 非金属材料紫外光老化试验方法与标准研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2016,34(1): 6-10.