典型非金属材料海洋环境适应性技术研究

王哲[1]，雍兴跃[2]，范林[1]，段婷婷[1]
（1.中航工业第一飞机设计研究院，西安 710089；2.北京化工大学，北京 100000）

摘要：目的 研究海洋环境对典型非金属腐蚀的影响。**方法** 首先编制加速腐蚀试验环境谱进行腐蚀试验，以及自然暴晒试验，最后对试验进行数据分析。**结果** 丁晴橡胶、硅橡胶、有机玻璃及密封胶在经过热冲击、盐雾、紫外暴晒、紫外-周浸和万宁站暴晒试验之后，其断裂强度、屈服强度和断裂伸长率等力学性能虽然都有一定程度降低，但是其力学性能的保持率仍然达到 85%。这表明丁晴橡胶、硅橡胶、有机玻璃及密封胶总体上是耐蚀的。**结论** 丁晴橡胶和密封胶的耐腐蚀性强于硅橡胶和有机玻璃。

关键词：非金属；海洋环境；环境适应性
DOI：10.7643/ issn.1672-9242.2017.03.012
中图分类号：TJ04；TG172 **文献标识码：**A
文章编号：1672-9242(2017)03-0060-05

Technical Research on Ocean Environmental Adaptability of Typical Nonmetal Materials

WANG Zhe[1], *YONG Xing-yue*[2], *FAN Lin*[1], *DUAN Ting-ting*[1]
(1.AVIC The First Aircraft Institute, Xi′an 710089, China;
2.Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100000, China)

ABSTRACT: Objective To study influences of ocean environment on corrosion of typical nonmetal materials. **Methods** A environment spectrum for accelerated corrosion test was drawled up to carry out corrosion test, atmospheric exposure test and data analysis. **Results** Mechanical properties such as breaking strength, yield strength and elongation at break of nitrile rubber buna, silicon rubber, organic glass and sealant decreased to a certain extent after tests of thermal shock, salt fog, ultraviolet exposure, ultraviolet-immersion and exposure in Wanning Station, but their mechanical properties were still kept at 85%. This means that nitrile rubber buna, silicon rubber, organic glass and sealant were corrosion resistant. **Conclusion** The corrosion resistance of nitrile rubber buna and sealant is better than that of silicon rubber and organic glass.

KEY WORDS: nonmetal; ocean environment; environmental adaptability

海上飞机服役环境苛刻，不但导致金属材料腐蚀，更会造成橡胶、密封剂、有机玻璃、复合材料等高分子材料的吸湿、开裂、老化、体积膨胀、组织疏松、表面模糊和起泡等现象，造成弹性、塑性改变和强度降低。同时，导致部件功能失效，降低武器装备的可靠性。另外，霉菌的破坏作用随温度和湿度而变化，造成非金属功能材料的霉变，致使这些材料的物理性能发生明显恶化，危及武器装备的安全性。海上飞机结构中的非金属功能材料变质、结构强度降低、系统和附件功能失效，这不但影响和降低了海上飞机

收稿日期：2016-12-28；**修订日期：**2017-01-11
作者简介：王哲（1963—），男，陕西西安人，研究员，主要从事飞机结构、机构设计与研究。

的出勤率、安全性和使用寿命，而且增加了海上飞机的使用维护成本。国内对海上飞机材料，特别是非金属功能材料体系的环境适应性研究基础不足，影响了飞机非金属功能材料的正确选用、合适防护和正确维护。通过开展橡胶、密封剂、有机玻璃、复合材料等非金属功能材料海洋环境中适应性研究，掌握相应的腐蚀老化特性评价方法，获取相关腐蚀老化特性参考数据，为型号研制和使用维护阶段提供腐蚀防护技术支持[1]。

1　新型密封材料环境适应性研究

非金属密封材料主要应用部位有风挡窗户区域、口框区域、结构缝隙、盥洗室区域、舱盖等[2]。典型结构件如舱门密封橡胶带、防腐蚀和气密的密封剂、口盖及风挡密封橡胶件等。环境参考现役服役的飞机腐蚀情况。

密封剂主要用于飞机的密封结构中，如整体油箱、气密座舱、设备气密舱等。可以实现气密、油密和水密，防止漏油、漏气、漏水功能，同时还可以起到防腐、气动整流、防火、防水等作用。由于海上飞机工作环境特殊性，对橡胶材料的三防性能要求较高。空气系统中使用耐空气老化、长寿命的有机硅橡胶和乙丙橡胶；接触各种油汽部位和后机身耐高温部位采用氟硅橡胶；液压油、滑油、燃油介质中使用丁腈橡胶、氟醚橡胶、氟橡胶。透明件主要用于座舱风挡、观察窗等有视线要求的部位，交联型 YB-DM-10 有机玻璃具有高强度、高韧性、抗银纹及裂纹扩展能力。

通过调研机场环境数据，掌握机场外部自然环境，结合所考察腐蚀损伤关键部位与外部环境之间的联系，分析关键部位局部环境的腐蚀因素。参考国外经过验证的行之有效的加速试验环境谱，综合考虑造成飞机结构腐蚀/失效的各种环境因素，选取主要环境因素制定加速试验环境谱块，并组合为可实施的、具有模拟性的加速试验环境谱。环境谱考虑因素、环境谱编制流程、环境谱的基本构成参考 CASS 谱环境谱[3—8]。

通过适当的当量关系确定方法来确定各环境谱块的参数，确定飞机结构件加速试验环境谱实施的具体试验条件，使环境谱同时具备“加速性”和“再现性”。对新型橡胶、密封剂、有机玻璃等非金属材料进行环境试验，以便掌握这些材料腐蚀情况。

2　密封材料环境适应性评估方法研究

1）失重法。计算样品在实验后的累积质量变化，紫外暴晒与周期浸润联合实验每个循环后样品的质量变化量。

2）失光率。紫外暴晒与周期浸润联合实验每个循环后样品的光泽度变化量。

3）力学性能测试。使用微机控制电子万能试验机对试验前后的样品进行力学性能测试。

4）表面形貌观察。使用 XD30M 金相显微镜、SZ45-ST1 变焦体视显微镜及照相机观察实验前后样品的表面形貌变化。

3　试验

3.1　环境箱当量环境谱下的加速腐蚀

3.1.1　试验步骤

按照如图 1 所示试验步骤进行 2 个周期循环。

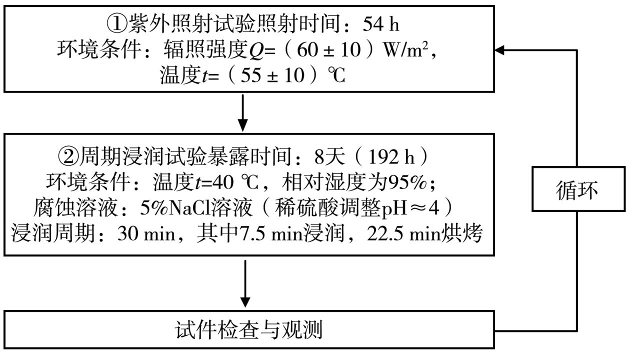


图 1　试验步骤

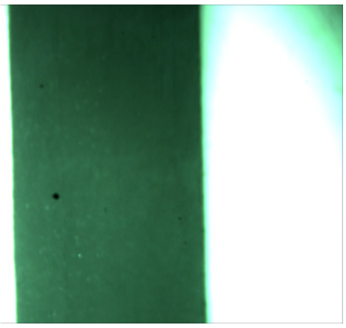
3.1.2　试验结果

3.1.2.1　质量损失分析

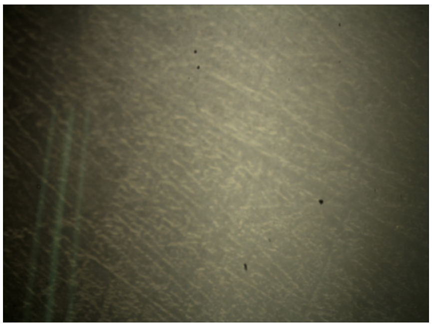
丁晴橡胶的质量损失结果见表 1，表面形貌如图 2 所示。

表 1　丁晴橡胶的质量损失结果

	空白/g	试验后/g	质量损失率/%
1	4.3843	4.3212	−1.44
2	4.6415	4.5962	−0.98
3	4.3907	4.3856	−0.12
4	4.6736	4.6521	−0.46
5	4.3899	4.2987	−2.08
平均			−1.01



a 45×



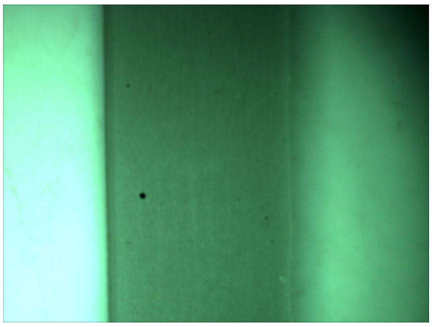
b 200×

图 2 丁晴橡胶表面形貌

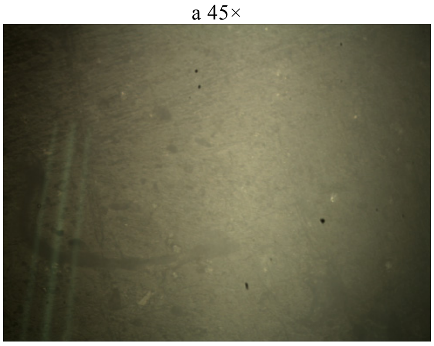
硅橡胶的质量损失结果见表 2,表面形貌如图 3 所示。

表 2 硅橡胶的质量损失结果

	空白/g	试验后/g	质量损失率/%
1	4.5357	4.5123	−0.52
2	4.5167	4.4469	−1.54
3	4.4292	4.3598	−1.57
4	4.1252	4.1154	−0.24
5	4.5533	4.5426	−0.24
平均			−0.82



a 45×



b 200×

图 3 硅橡胶表面形貌

有机玻璃的质量损失结果见表 3。

表 3 有机玻璃的质量损失结果

	空白/g	试验后/g	质量损失率/%
1	29.3777	29.0658	−1.07
2	28.7171	28.6512	−0.23
3	28.8058	28.7065	−0.34
4	29.0817	28.9658	−0.40
5	28.6528	28.5518	−0.35
平均			−0.48

由表 1—3 可知，三种材料的质量损失规律并不明显，但均有微小的质量损失，是紫外光照射导致材料表面粉化所致。由图 2 和图 3 可知，放大 45 倍的情况下，橡胶件表面并无明显特征，但放大 200 倍的情况下，可明显发现丁晴橡胶表面出现了大量细纹及斑点，硅橡胶表面也有少许斑点。证明紫外照射及浸润使其发生了一定程度的老化。玻璃没有明显的变化。

3.1.2.2 失光率分析

5860 丁晴橡胶的失光量见表 4。

表 4 丁晴橡胶失光量 Gs

周期	1	2	3	4	5	平均值
0	27.8	59.3	53.5	40.6	47.1	45.66
紫外 1	25.9	36.7	38.4	55.2	29.9	37.22
1	40.3	34.7	28.5	17.5	17.5	27.7
紫外 2	21.2	19.6	15.8	16.1	26.5	19.84
2	31.7	16.3	19	21.1	18.8	21.38

G198 硅橡胶的失光量见表 5。

表 5 硅橡胶失光量 Gs

周期	1	2	3	4	5	平均值
0	40.2	37.3	41	27.2	33.2	35.78
紫外1	36.7	40.7	32.2	21.5	36.4	33.5
1	23.8	31.3	23.7	21.6	32.3	26.54
紫外2	24.5	21.3	27.2	17.5	35.9	25.28
2	36	19.4	17.4	17.9	32.6	24.66

YB-DM-10 有机玻璃的失光量见表 6。

表 6 有机玻璃失光量 Gs

周期	1	2	3	4	5	平均值
0	96.6	98.1	106.5	97.9	91	98.02
紫外1	118.2	103.6	120	107	120.8	113.92
1	99.8	102.5	95.2	97	106.8	100.26
紫外2	108.7	111	103.9	107.1	106.1	107.36
2	118.1	111.4	96.8	108	106.7	108.2

通过上述表中数据分析，由于紫外光照射及周期浸泡，丁晴橡胶和硅橡胶的表面光泽度总体上出现一

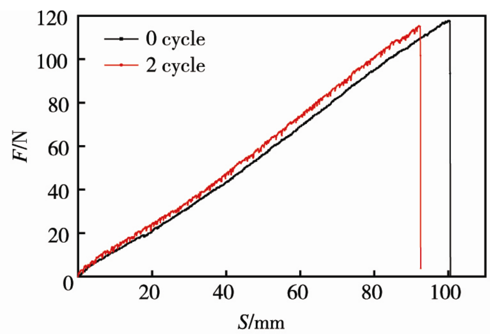
定的下降，且丁晴橡胶的失光率高于硅橡胶，而有机玻璃的光泽度有了一定的上升。

3.1.2.3　力学性能分析

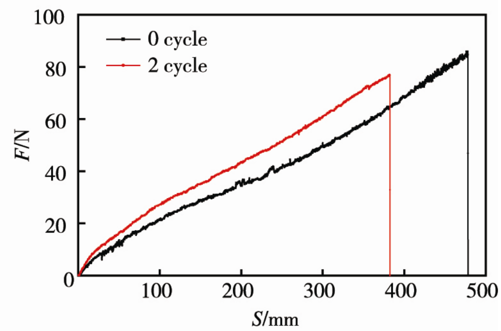
对丁晴橡胶、硅橡胶、有机玻璃的空白试样及试验后试样分别进行了拉伸试验，结果见表 7 和图 4。

表 7　拉伸试验结果

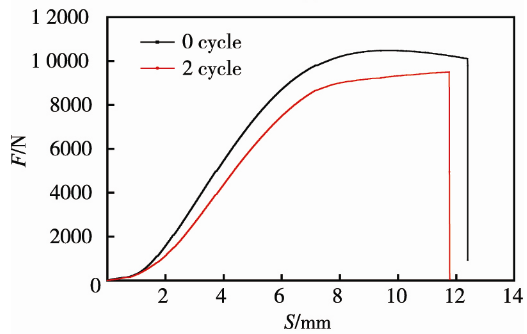
类别		最大载荷/N	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断裂伸长率/%
丁晴橡胶	空白试样	117.71	9.48	2.02	249.75
	试验后试样	115.43	9.29	1.86	231.8
	变化率/%	−1.9	−2.0	−7.9	−7.2
硅橡胶	空白试样	86	7.14	1.42	1195.5
	试验后试样	77.14	6.4	1.28	956.25
	变化率/%	−10.3	−10.3	−9.8	−20.0
有机玻璃	空白试样	10 485.71	86.93	86.93	17.7
	试验后试样	10483.67	86.89	86.84	17.58
	变化率/%	−1.9	0	0	−0.6



a 丁晴橡胶



b 硅橡胶

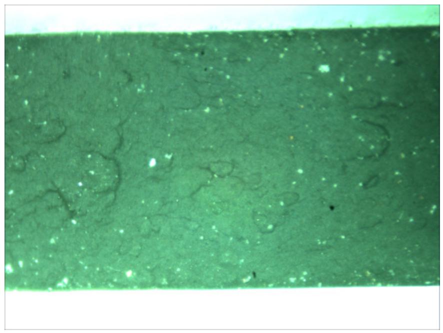


c 有机玻璃

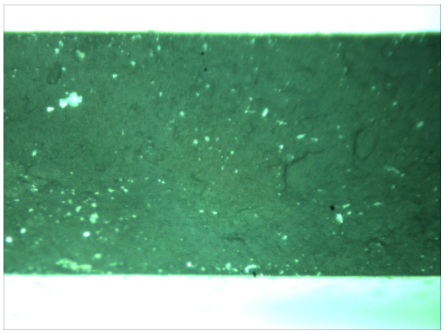
图 4　试样实验前后拉伸变化

3.1.2.4　断口形貌

为了更加直观地观察环境对材料的影响，针对力学测试后的试样进行了断口截面的形貌分析。三种材料的断口截面如图 5—7 所示。

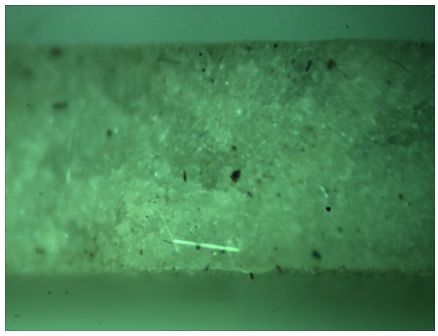


a 空白试样

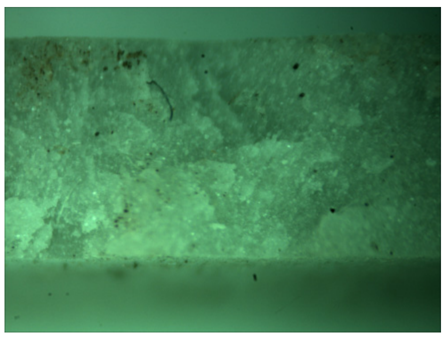


b 试验后试样

图 5　丁晴橡胶断口截面

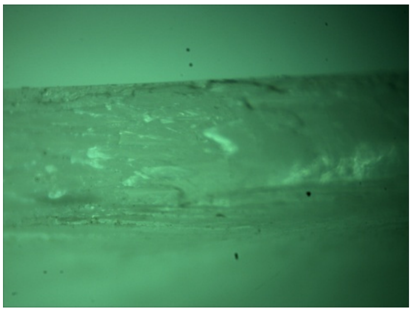


a 空白试样

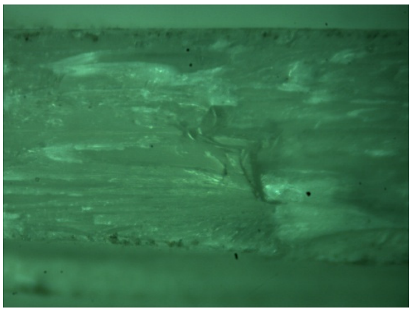


b 试验后试样

图 6　硅橡胶断口截面



a 空白试样



b 试验后试样

图 7　有机玻璃断口截面

3.2　自然曝晒腐蚀试验

海洋大气环境试验在海南万宁大气暴晒站进行，暴晒时间为 2 年，位置为东经 110°05′、北纬 18°58′，海拔高度为 12.3 m，平均温度为 24.6 ℃，平均相对湿度为 86 %，年总辐射量为 4826 MJ/m^2，年总日照时数为 2154 h，年降水总量为 1515 mm，降水 pH 值为 5.4。YB-DM-10 有机玻璃试件尺寸为 35 mm×150 mm；5860 丁晴橡胶试件尺寸为 25 mm×120 mm；G198 硅橡胶试件尺寸为 25 mm×120 mm；JLG-103 密封剂试件尺寸为 35 mm×150 mm。用电子扫描显微镜对紫外-周浸试验下的材料进行了微观形貌分析，并与万宁站试验结果作了对比。从有机玻璃断口已经能看出层片状形态，证明试样经受紫外-周浸试验及万宁站试验后，韧性降低，容易发生脆性开裂。对丁晴橡胶断口略有影响，但都不明显。对硅橡胶和有机玻璃影响比较显著，可以明显发现材料韧性降低。对于密封胶则几乎没有影响。

4　结论

由测试结果和断口截面可推论：丁晴橡胶试样断口处的裂纹较少，说明其断裂时受力较小，其硬度及韧性均有所下降，在一定程度上受到了环境的影响。试验后的硅橡胶试样的断口较为平整，说明其韧性及硬度均有下降，在一定程度上受到了环境的影响。对于有机玻璃试样，实验前后断口截面图的差别并不明显，说明环境对其影响相对较小。丁腈橡胶、硅橡胶在分别经过热冲击、盐雾、紫外暴晒和紫外-周浸试验之后，其力学性能虽然有所降低，但是除了硅橡胶的断裂伸长率略大于 20%之外,其他都在 15%的范围内。这表明这些材料受热冲击、盐雾、紫外暴晒和紫外-周浸环境因素的影响较小，可以使用。各材料试验结果与实地万宁站暴晒试验下的试验结果接近，证明紫外-周浸试验能在加速的条件下通过一定当量关系良好地模拟实际情况，具有极大参考价值。

参考文献：

[1] BAKER A A. Repair of Cracked or Defective Metallic Aircraft Components with Advanced Fibre Composites[J]. Composites Structure, 1984, 2(2): 153—234.

[2] 中国航空研究院. 飞机设计手册 第 2 册[M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.

[3] 刘文珽, 李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2004.

[4] 杨晓华, 姚卫星, 陈跃良. 考虑日历环境影响的结构日历寿命研究[J]. 应用力学学报, 2002, 19(3): 157—159.

[5] 李东帆. 飞机结构的腐蚀与防护[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 57—61.

[6] LI S, TANG H, ZHANG X, et al. Fatigue Behavior of Precorrosion Deformed Bars[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2014, 26(9): 646—649.

[7] MA S, HUI L, ZHOU S, et al. Influence of Corrosion Environments on Corrosion Fatigue Property of Pre-corroded Aluminum Alloy[J]. Journal of Materials Engineering, 2015, 43(2): 91—95.

[8] 陈群志, 李喜明. 飞机结构典型环境腐蚀当量关系研究[J]. 航空学报, 1998, 19(4): 414—418.