

AV30 涂料应用于飞机结构件防腐性能的研究

张亚娟¹, 刘一鸣¹, 蒋军亮¹, 王英利¹, 章骏²

(1. 中国飞机强度研究所, 西安 710065; 2. 601 所, 沈阳 110035)

摘要: 针对飞机内部典型结构的局部腐蚀环境进行了加速腐蚀环境及加速腐蚀试验方法研究, 提出了适用于飞机内部结构重腐蚀区涂层的加速试验环境谱。结果表明, 与现役飞机涂层相比, AV30 脱水防腐涂层的抗环境腐蚀性良好, 同时总结了轻质材料钛合金连接结构涂层的腐蚀失效特点。

关键词: AV30 脱水防腐涂层; 加速腐蚀环境谱; 绝缘电阻值; 光泽度

中图分类号: TG174.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2008)03-0012-04

Study on the Protection Performance of AV30 Coating Applied to Aircraft Structures

ZHANG Ya-juan¹, LIU Yi-ming¹, JIANG Jun-liang¹, WANG Ying-li¹, ZHANG Jun²

(1. Research Institute of China Airplane Strength, Xi'an 710065, China; 2. No. 601 Research Institute, Shenyang 110035, China)

Abstract: The accelerated corrosion environmental spectrum and accelerated corrosion test methods were studied for evaluation the local environmental corrosion of typical aircraft interior structures. The accelerated corrosion environmental spectrum for the heavy-duty coating on the aircraft interior structures was put forward. The test results showed that the anticorrosion properties of AV30 are much better than the ordinary coatings on the active service aircraft structures. The corrosion characteristics of the coating for light-weight material titanium alloy assembly structure were summarized.

Key words: dehydrate anticorrosion coating AV30; accelerated corrosion environmental spectrum; insulation resistance; gloss

飞机在沿海和内陆湿热地区等腐蚀较严重环境下服役期间, 结构的若干部位会发生腐蚀损伤, 严重影响飞机的正常使用, 这些腐蚀关键部位的腐蚀损伤是决定飞机结构腐蚀修理间隔及日历寿命的重要依据。大量的检查结果表明, 现役飞机结构腐蚀严重的区域主要集中在外场无法检查, 平时无法采取措施的机体结构内部、机身蒙皮铆接处、机翼、尾翼、起落架, 以及可检性较差的承力件、框架、机身密封舱等易积水的部位和一些半封闭式或密封较差的结

构部位^[1]。由于含氯离子和硫化物等腐蚀介质的潮湿空气或雨水很容易渗入到这些结构内部, 但往往因不通风或排水不畅, 易使水分或潮气等腐蚀介质长时间滞留, 处于一种干湿交替的状态, 导致局部环境比外界大气环境更加恶劣, 从而导致飞机内部不同种类金属连接处发生严重的电偶腐蚀和缝隙腐蚀^[2]。基于以上原因, 研究的典型结构采用以铝合金为主板, 螺接及铆接铝合金、钛合金及不锈钢长桁, 使得该构件能充分地体现飞机的易腐蚀部位及

易腐蚀材料的合理结合。

腐蚀损伤的出现主要是由于结构表面涂层腐蚀失效引起基体结构腐蚀失效,因此防护涂层体系的耐久性研究对飞机使用寿命有重要意义。由美国生产的 AV30 重腐蚀防护涂层在国外已使用,而国内这方面的应用还未见报道。AV30 材料具有极强的渗透性和水置换性,可将结构缝隙处、材料自身空隙中的水和水性腐蚀介质置换出来,并同时形成一层保护膜,防止腐蚀介质再次浸入和腐蚀的发生,对已发生腐蚀的结构材料,使用该涂料可以有效隔离腐蚀介质,减缓腐蚀的扩展。笔者通过实验室加速腐蚀试验对多种涂层体系进行优选,着重研究 AV30 涂层对飞机内部结构重腐蚀区的防护效果。

1 试验方法

1.1 试验件

试验件的结构选用 LY12CZ 铝合金为主板,螺栓及铆接铝合金、钛合金及不锈钢长桁。试验基材 LY12CZ 铝合金用硫酸阳极化处理,试件的涂层体系包括 AV30 水基防腐涂料、YTF-1 防腐涂料和 HKF-1 防腐涂料。涂装 AV30 涂料的试件编号为 5[#]、8[#]、11[#]、12[#],涂装其它两种涂料的试件编号分别为 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、6[#]、7[#]、9[#]、10[#]。

1.2 加速试验谱

飞机的服役年限通常要达到 30 年左右。在外场跟踪实测涂层的腐蚀失效过程在工程上难以实现,因此必须采用实验室加速腐蚀方法,在较短的加速试验周期内达到与飞机服役若干年相同的腐蚀效果。通过对飞机内部结构在飞行及停放过程中局部环境参数的变化及受载情况的研究分析,来确定飞机内部结构的局部环境谱。该环境谱大致包括湿热、热空气、低温疲劳及盐雾。根据以往的研究经验并进行多次试验调试,编制了针对飞机内部结构重腐蚀区涂层的加速试验环境谱如图 1 所示。

1.3 主要试验设备

主要试验设备有:INSTRON8801 试验机,银河湿热试验箱,YW/Q-016 盐雾腐蚀试验箱,高温试验箱,NF2511 绝缘电阻测试仪,KGZ-1A 镜向光泽度

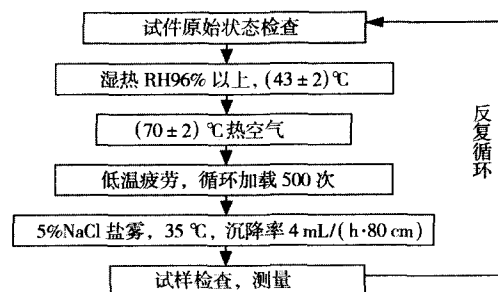


图 1 人工加速环境试验谱

Fig. 1 Accelerated corrosion environmental spectrum

仪,XTL-1 摄影电视显微镜。

2 结果与分析

2.1 典型结构涂层宏观及微观检测结果

在试件的整个老化过程中随时跟踪观察拍照,每个老化周期结束后,对试件外观进行宏观、微观观察且详细记录其腐蚀状况,总结该结构件的腐蚀规律如下。

1) 与钛材料连结的螺钉周围的涂层出现气泡最早,气泡向四周扩散也快;与钢材料连结螺钉周围的涂层出现气泡较早,气泡向四周扩散较快;与铝合金材料连结的螺钉、铆钉周围的涂层出现气泡最晚。

2) 钢材料顶部因涂层剥落腐蚀严重;钛合金材料与铝合金板面接缝处积盐、粉化较普遍;钛合金材料表面涂层易剥落。

由以上腐蚀发生的部位及其腐蚀程度可以发现:经 6 周期的老化试验后,涂装 AV30 涂料的 5[#]、8[#]、11[#]、12[#] 试件的面漆及背面涂层几乎没有变化,而其它试件紧固件周围的面漆已出现小气泡;经 12 周期的人工加速老化试验后,涂装 AV30 涂料的试件的面漆连接部位陆续出现了小的气泡,其它试件面漆连接部位的气泡扩展很快,有的气泡破裂脱落,螺钉头露底,如图 2 所示。

2.2 腐蚀对试件电绝缘性能的影响

一般来说,有机涂料与基材的性能相比较,有某些突出的特点如电绝缘、隔热、耐腐蚀等耐久性能指标优异,而随着老化时间增长耐久性指标降低。其

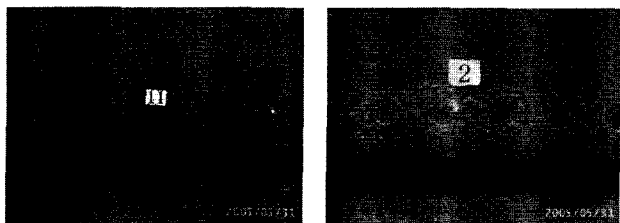


图2 加速腐蚀12周期后涂装 AV30 的11[#]和涂装其它涂料的2[#]试件腐蚀程度对比

Fig.2 The corrosion degree comparison between AV30 coated and other coating coated sample after 12 periods of accelerated corrosion

中涂层电阻与涂层的起泡率、孔隙率及孔内导电率

有密切关系。根据大量试验研究,发现涂层老化指标 R 与时间 t 符合下面规律^[3]:

$$R = ae^{bt^m}$$

式中: R 是绝缘电阻值; t 是老化时间或加速老化周期; a 、 b 是待定参数; m 是优化参数。运用该老化模型,可建立涂层自然老化时间与加速老化周期的当量关系,从而可应用人工加速老化的方法来预测涂层的使用寿命。

2.2.1 涂层电绝缘性能的变化情况

经12周期人工加速老化试验后,1[#] - 12[#]试件的绝缘电阻见表1。

表1 12个试验件涂层绝缘电阻值测试数据(均值)

Table 1 Test data of insulation resistance (mean)

试件 编号	绝缘电阻值/ Ω							
	初始值	第2周期	第4周期	第6周期	第8周期	第10周期	第12周期	约下降的数量级
1 [#]	6.3×10^{12}	4.75×10^{11}	1.22×10^{11}	4.33×10^{10}	1.01×10^{10}	1.98×10^{10}	5.13×10^9	3-4
2 [#]	7.7×10^{12}	6.38×10^{11}	1.96×10^{11}	1.98×10^{11}	5.13×10^{10}	5.43×10^9	6.18×10^9	3-4
3 [#]	1.11×10^{13}	2.15×10^{12}	5.58×10^{11}	7.0×10^{11}	1.68×10^{11}	3.13×10^{10}	4.75×10^{10}	2-3
4 [#]	5.0×10^{12}	3.03×10^{12}	5.05×10^{11}	8.38×10^{10}	3.45×10^{10}	7.25×10^{10}	2.75×10^{10}	2-3
5 [#]	5.25×10^{12}	1.95×10^{12}	2.42×10^{11}	2.25×10^{11}	4.08×10^{10}	6.38×10^{10}	2.5×10^{10}	2-3
6 [#]	4.0×10^{12}	6.3×10^{11}	4.0×10^{11}	2.45×10^{11}	1.35×10^{11}	2×10^{11}	8×10^{10}	2-3
7 [#]	6.25×10^{12}	9.95×10^{11}	6.38×10^{10}	6.0×10^{10}	3.08×10^{10}	3.13×10^{10}	2.45×10^{10}	2-3
8 [#]	1.83×10^{13}	2.65×10^{12}	2.88×10^{11}	4.55×10^{11}	1.08×10^{11}	7.53×10^{10}	6.43×10^{10}	2-3
9 [#]	1.06×10^{13}	4.7×10^{11}	4.15×10^{11}	1.11×10^{11}	3.58×10^{10}	3.2×10^{10}	2.8×10^{10}	2-3
10 [#]	1.29×10^{13}	8.18×10^{11}	1.4×10^{11}	1.38×10^{11}	2.15×10^{11}	4.55×10^{10}	3.3×10^{10}	2-3
11 [#]	1.19×10^{13}	2.31×10^{12}	4.03×10^{11}	3.05×10^{11}	2.23×10^{11}	2.13×10^{11}	2.25×10^{11}	1-2
12 [#]	1.25×10^{13}	2.19×10^{12}	3.15×10^{11}	3.53×10^{11}	1.31×10^{11}	1.16×10^{11}	1.51×10^{11}	1-2

由表1可知,涂装 AV30 涂料的5[#]、8[#]、11[#]、12[#]试件的电阻值下降幅度比其它涂层小,其中11[#]和12[#]试件电阻值的下降速度明显较慢。

2.2.2 根据涂层绝缘电阻值的下降情况预估涂层失效期

由表1选择1[#]、8[#]、11[#]试件前12周期电阻值作曲线如图3所示。由图3可以直观地比较电阻值随试验周期的变化情况,预估在曲线的平直部分涂层已大面积失效。

2.3 腐蚀对有机涂层光泽度的影响

试验测得1[#] - 12[#]试件的光泽度见表2。

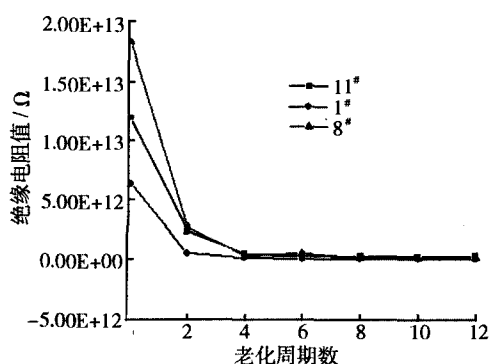


图3 1[#]、8[#]和11[#]试件的电阻值随试验周期的变化

Fig.3 The variation of insulation resistance of No. 1, No. 8, and No. 11 specimen with test periods

表2 12个试件涂层面漆光泽度的测试数据(均值)

Table 2 Test data of gloss (mean)

试件 编号	初始值	光泽度						光泽度 下降率/%
		第2 周期	第4 周期	第6 周期	第8 周期	第10 周期	第12 周期	
1 [#]	89.7	89.5	88.2	86.4	86.0	85.2	84.1	6.24
2 [#]	16.4	16.4	16.28	15.57	15.13	15.2	15.13	7.74
3 [#]	18.2	18.18	17.9	17.08	17.1	16.9	16.9	7.14
4 [#]	15.8	15.3	14.7	14.8	14.8	14.38	14.6	7.59
5 [#]	14.9	14.9	14.83	14.2	14.4	14.31	14.08	5.50
6 [#]	14.8	15.0	14.6	14.6	14.4	14.6	14.0	5.41
7 [#]	14.7	14.7	14.43	14.5	14.3	14.0	13.9	5.44
8 [#]	15.7	15.3	15.0	15.3	14.9	14.7	14.8	5.73
9 [#]	18.05	17.9	18.0	17.4	17.28	17.1	17.3	4.16
10 [#]	16.6	16.63	16.48	16.0	16.03	15.8	15.7	5.42
11 [#]	17.18	17.15	17.7	17.07	17.09	17.01	16.9	1.63
12 [#]	14.7	14.6	14.7	14.56	14.4	14.3	14.28	2.86

由表2可知,经12周期加速老化后,涂装AV30的5[#]、8[#]、11[#]及12[#]试件的光泽度的下降率较低,跟前面的试验结论基本相符。

3 结语

以上的研究可以发现,根据对有机涂层宏观微观形貌观察、绝缘电阻值及光泽度的周期性测量来考察飞机典型构件涂层体系的耐腐蚀损伤性能,其研究结果具有较好的一致性,对涂层的优选效果良好,通过对该构件涂层腐蚀特性的分析,可以得到以下结论。

1) 通过用以上3种方法对12件试件耐腐蚀性的综合考评,可以证明AV30涂层对飞机内部结构重腐蚀区的防护效果优于2种现役涂层。

2) 紧固件是涂层失效发生腐蚀的薄弱点,如紧固件周围涂层起泡,紧固件表面漆层剥落露底,尤其是与钛合金联接的紧固件周围涂层起泡现象严重。

3) 由于不同种类的金属之间存在电位差,连接处易发生电偶腐蚀和缝隙腐蚀,在试验过程中钛合金与铝合金板材的接缝处被最早腐蚀且较严重,钢与铝合金板材接缝处被腐蚀的程度较轻,铝合金与铝合金板接缝处几乎没有出现涂层失效和金属被腐蚀的现象。

4) 钛合金本身耐腐蚀性较好,但与其联接的铝合金板材腐蚀较严重。另外钛合金与涂层之间的粘结力较弱,即钛合金表面涂层脱落严重。这是由于钛合金的电位较正,当与其它金属连接组成组合件时,在腐蚀环境中容易使电位较负的金属产生电偶腐蚀,加速电位较负金属的腐蚀速度。

参考文献:

- [1] 孙祚东. 军用飞机典型铝合金结构腐蚀损伤规律及加速腐蚀试验方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2005:26.
- [2] 杨专利. 钛合金紧固件连接结构接触腐蚀行为及其控制技术[D]. 西安:西北工业大学. 2004:1-2.
- [3] 王英利. 军机表面防护涂层体系耐久性试验研究[R]. 623所.

(上接第8页)

- [2] 白长青,许庆余,张小龙. 滚动轴承——火箭发动机液氢涡轮泵转子系统的动力特性分析[J]. 航空学报, 2006,27(2):258-261.
- [3] 徐悦,田爱梅,何磊等. 涡轮泵环形密封激振特性的数值计算[J]. 水动力研究进展,2005,20(增刊):815-820.
- [4] DOUST T G, PARMAR A. An Experimental and Theoretical Study of Pressure and Thermal Distortions in a Mechanical Seal[J]. SLE, 1986,29(2):151-159.
- [5] PARVIZ Merati, NORI aki Okita. Experimental and Com-

putational Investigation of Flow and Thermal Behavior of a Mechanical Seal[J]. Tribology Transactions, 1999, 42(4): 731-738.

- [6] PARMAR A. Thermal Distortion Control in Mechanical Seals[C]//Proc of 12th International Conference on Fluid Sealing. 1989.
- [7] 洪先志,董宗玉,顾永泉. 机械密封端面力变形的解析计算[J]. 化工设计,2002,12(2):37-39.
- [8] 陈国恒. 流体动压效应与密封准数[J]. 化工机械, 1979,6(1):1-8.