

装备通用质量特性及寿命评估

基于环境腐蚀损伤的某型飞机日历寿命的确定

杨晓华, 顾志跃, 张泰峰

(海军航空大学 青岛分校, 山东 青岛 266041)

摘要: **目的** 基于腐蚀的观点, 确定基于环境区域腐蚀损伤的某型飞机结构的日历寿命。**方法** 通过试验确定各级温湿度下飞机结构常用铝合金材料 2A12-T3 腐蚀至任意损伤值的时间曲线 ($T-H$ 曲线), 并根据某型飞机的服役环境谱以及对应的腐蚀损伤容限 D_c 确定该型飞机的日历寿命。**结果** 试验确定出不同湿度下的 $T-H$ 曲线, 引入海南陵水机场的温湿度环境谱, 将数据带入计算模型, 所得结果比较合理。**结论** 该模型可以合理地求得腐蚀环境下飞机结构的日历寿命, 获得的 2A12-T3 铝合金腐蚀损伤时间曲线具有普适性。

关键词: 日历寿命; 腐蚀容限; $T-H$ 曲线

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.05.017

中图分类号: V216.5+7

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)05-0085-05

Determination of Calendar Life of a Certain Aircraft Structure Based on Environmental Corrosion Damage

YANG Xiao-hua, GU Zhi-yue, ZHANG Tai-Feng

(Qingdao Branch of Naval Aviation University, Qingdao 266041, China)

ABSTRACT: **Objective** To determine calendar life of an aircraft structure with corrosion damage in environment region based on corrosion perspective. **Methods** The time curve ($T-H$ curve) of 2A12-T3 corrosion to arbitrary damage value of aluminum 2A12-T3 alloy materials commonly used in aircraft structures under different temperature and humidity was determined by experiment, and the calendar life of a certain aircraft was determined according to its service environment spectrum and the corresponding corrosion damage tolerance D_c . **Results** The $T-H$ curve under different humidity was determined by experiment. The environment spectrum of temperature and humidity in Lingshui Airport was obtained by statistics. The calculated result was reasonable. **Conclusion** The model can get the calendar life of aircraft structure in corrosive environment and the time curve ($T-H$ curve) for aluminum alloy corrosion damage of 2A12-T3 is universal.

KEY WORDS: calendar life; corrosion tolerance; $T-H$ curve

多年来世界各国的学者对飞机日历寿命的研究从未停止过^[1-2], 目前的方法大体上有两类。一类是基于腐蚀的观点^[3-7], 张福泽通过飞机的使用环境谱、自由腐蚀到临界损伤的年限、一次有效防腐蚀层的年限和飞机翻修次数给出飞机的日历总寿命。第二类是基于疲劳的观点^[8-9]。刘文珽等以一般环境下疲劳寿命评定结论为基础, 引入综合考虑地面停放预腐蚀与

空中腐蚀疲劳影响的腐蚀影响系数, 将腐蚀条件下的飞行小时数等损伤折算为当量一般环境下飞行小时数, 以达到用一般环境下疲劳寿命的评定结果修正得到腐蚀条件下疲劳寿命的目的。

文中利用张福泽的方法, 通过某型飞机常用铝合金材料的实验室加速腐蚀试验, 得到了常用航空铝合金材料任意腐蚀损伤的 T (温度) - H (时间) 曲线。

根据该机的腐蚀容限值,结合该机服役地区的使用环境谱对该型机的日历寿命进行了分析。

1 基于环境区域腐蚀损伤的日历寿命模型

文献[3-5]基于腐蚀的观点,给出了飞机结构日历寿命 Y 的计算公式:

$$Y = (n+1)\lambda_m + \lambda \quad (1)$$

式中: n 为飞机的翻修次数; λ_m 为飞机结构防护涂层的日历寿命; λ 为机体腐蚀到损伤容限 D_c 所要的时间。

$$\lambda \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k \frac{h_i}{H_i} = 1 \quad (2)$$

式中: h_i 为服役环境谱中各级温湿度下的年小时数; H_i 为 T (温度) - H (时间) 曲线中的 i 级温度腐蚀至损伤容限值所对应的小时数; j 为 m 种腐蚀温度谱中的某一种; m 为腐蚀温度谱的种类数; k 为温度级数。

标准的 T - H 曲线如图 1 所示。科学合理的机体材料的 T - H 曲线是通过该模型获得飞机结构日历寿命的关键。

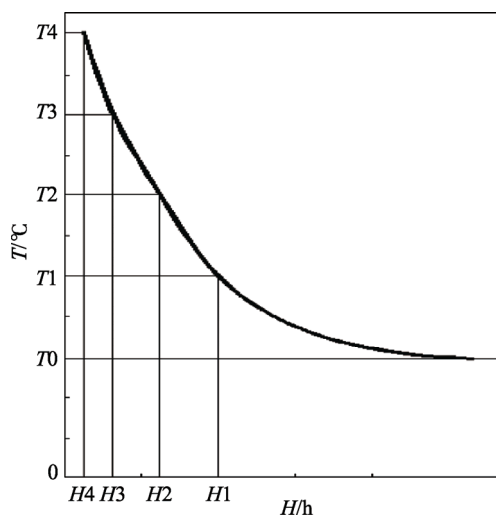


图 1 T - H 曲线

2 某型飞机日历寿命分析

2.1 2A12-T3 铝合金 T - H 曲线

由文献[3]可知,金属材料在一定的介质环境中,想要达到损伤容限 D_c ,提高试验温度 T 可以缩短试验时间 H ,降低试验温度 T 则延长试验时间 H 。因此在温度与时间中就存在着某种关系,称之为 T (温度) - H (时间) 曲线。

试验件采用 50 mm×25 mm×6 mm 的长方形 2A12-T3 铝合金,试样面积为 3400 mm²,数量为 54 个。试验件分组见表 1。

试验件将在温湿环境箱中进行三种不同的温湿度下的腐蚀,腐蚀时间为 1008 h。温度为 20, 35, 50 °C;相对湿度为 100%, 90%, 84%。

以海南陵水机场的平均日常环境腐蚀介质为基准,当浓度 d 为 1 倍时的成分含量见表 2,试验时浓度加至 10, 20, 40 倍。

试验步骤:用丙酮去除试验件表面油污,并对其进行称量;按照表 2 配置 10, 20, 40 倍的腐蚀溶液;按照表 1 对试验件进行分组,分组完在腐蚀溶液中进行浸泡,浸泡 1~2 min 后取出;放入温湿度环境箱中进行腐蚀,每种情况腐蚀 1008 h。试验结束后,取出试样,用去离子水进行冲洗,干燥后进行称量,对损伤量进行测量。

2A12-T3 铝合金的腐蚀形态为点蚀,去腐蚀产物后,采用三维光学测量显微镜 (OLYMPUS STM6) 随机测量 5 个蚀坑的深度,所有结果取平均值作为损伤量 D 的表征。统计完不同的温湿度,不同浓度 d 下的腐蚀损伤量 D ,即可画出其等温等时线。相对湿度为 100%, 90%, 84% 对应的 D - d 曲线如图 2 所示。

图 2 中线上每一点都是使用环境下的温湿度,作用时间都是 H_t 。这就意味着,用浓度 d_t 进行 H_t 小时的腐蚀试验,可以得到 D_t 的腐蚀深度。用浓度 $d_1=1$ 腐蚀 H_1 小时,则得到 D_1 的腐蚀损伤量。因此,可以得到 D_t 与 D_1 的转换关系:

$$D_1 = \frac{d_1}{d_t} D_t \quad (3)$$

表 1 等温等时线制作试验件分组

相对湿度/%	20 °C			35 °C			50 °C		
	10 倍	20 倍	40 倍	10 倍	20 倍	40 倍	10 倍	20 倍	40 倍
100	1—2	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	17—18
90	19—20	21—22	23—24	25—26	27—28	29—30	31—32	33—34	35—36
84	37—38	39—40	41—42	43—44	45—46	47—48	49—50	51—52	53—54

表 2 腐蚀介质浓度 1 倍所含成分

pH	$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{HNO}_3)/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NaCl})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
6.8	0.046	0.041	2.27

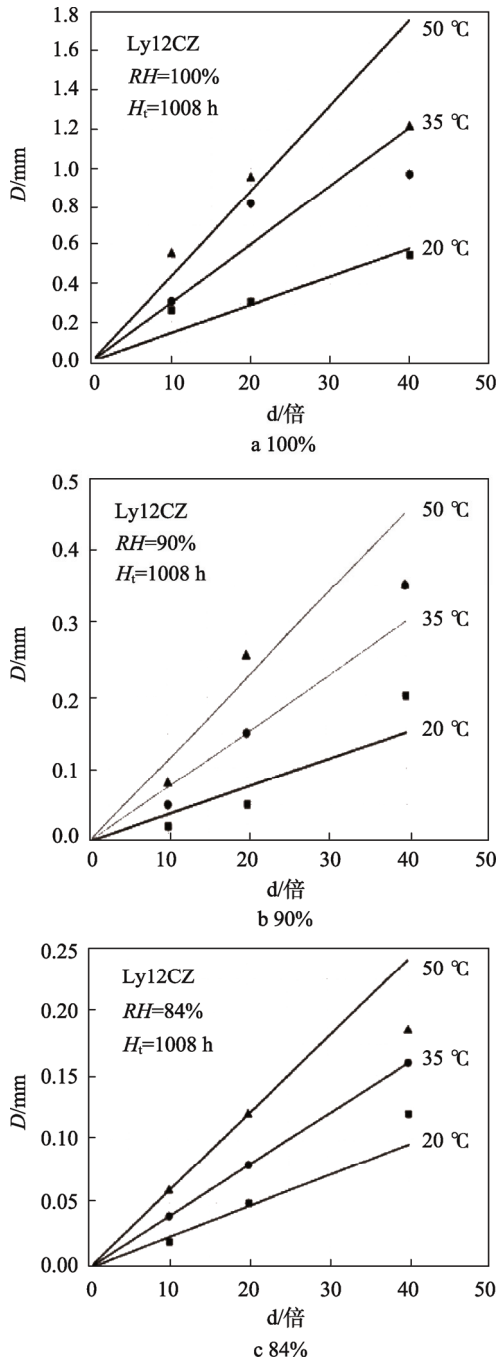


图 2 等温等时线

当损伤量指定时，根据式（4），可计算出在温度 T_1 下，腐蚀到指定损伤容限 D_{lc} 所用的时间 H_{lc} 。

$$H_{lc} = \frac{D_{lc}}{D_t} H_t \tag{4}$$

将式（3）代入式（4），且 $d_1=1$ ，得到：

$$H_{lc} = \frac{D_{lc} d_t}{D_t} H_t \tag{5}$$

式中： H_{lc} 为使用浓度、湿度和温度下腐蚀至给定损伤容限 D_{lc} 所用的时间，也就是金属相对于损伤容限 D_{lc} 的日历寿命； H_t 为试验浓度、湿度和温度下腐蚀至损伤量为 D_t 时所用的时间； D_{lc} 为使用浓度、

湿度和温度下的腐蚀容限损伤量； D_t 为试验浓度 d_t 、使用湿度和温度下，腐蚀 H_t 小时的腐蚀损伤量； d_t 为试验浓度。

根据不同的温度 T ，绘制出多组不同的 D （损伤量）- H （时间）曲线。选定某一固定损伤值 D_c ，根据这几组 D - H 曲线，可以得到不同温度 T 下的作用时间 H 。建一个 T - H 坐标，将这几个点绘制连线，即得到相应损失容限 D_c 下的 T - H 曲线。试验中得到的损伤容限 $D_c=1$ mm 的 T - H 曲线如图 3 所示，其他湿度下的 T - H 曲线通过插值法得到。

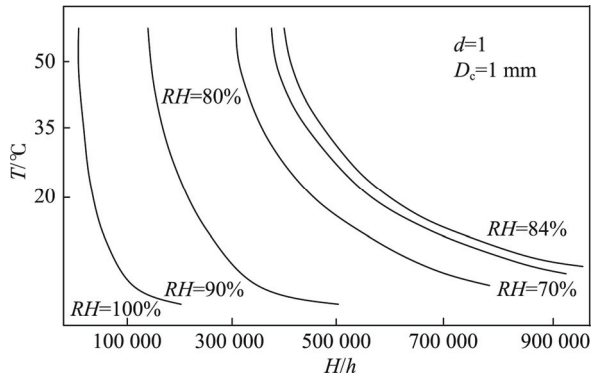


图 3 $D_c=1$ mm 的 T - H 曲线

2.2 飞机使用环境谱

由文献[10]可知，腐蚀和疲劳是机体构件产生失效的主要形式，高温、高湿、高盐雾的服役环境对飞机的腐蚀和疲劳产生了严重的影响。飞机的使用环境谱是研究腐蚀对机体结构影响的基础，因此，飞机的使用环境谱的编制尤为重要。

飞机使用环境谱分为两大类：一类是服役环境谱，如地面停放谱，空中腐蚀环境谱，飞机局部腐蚀环境谱等；另一类是实验室用的当量加速环境谱。文中需要用的是海洋环境谱中的温湿度谱，传统的船测和站点的检测已经不能很好地反映海洋温湿度场的整体状况，现阶段通过航天遥感技术获得该海洋区域的温湿度的参数，对参数加以统计得到该服役环境下的温湿度谱，为了增加试验可靠性，数据应尽量多采集。

文中选取的一段陵水机场某一年的温湿度谱作为试验环境谱见表 3，相对湿度在 70% 以下对腐蚀基本不起作用，可以不予考虑。

表 3 陵水机场温湿度环境谱

相对湿度/%	作用时间/h				Σ
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	
70	43	95	294	56	3764.43
80	219	239	383	15	
90	549	1249	577	2.5	
100	3.7	39.1	0.13	0	

2.3 机体结构腐蚀容限 D_c 分析

首先,文中将引入该机型机体材料及相应厚度分布图(见图4)。同一色度代表两者的材料相同,由图4中可以清楚地得到该机型各部位相应的厚度,

这就可以得到该机型的损伤容限 D_c 。该机型设定厚度 2 mm 以下为不受力壁板,2 mm 以上为受力壁板,且修理手册中规定受力壁板的容许腐蚀深度为 15%。

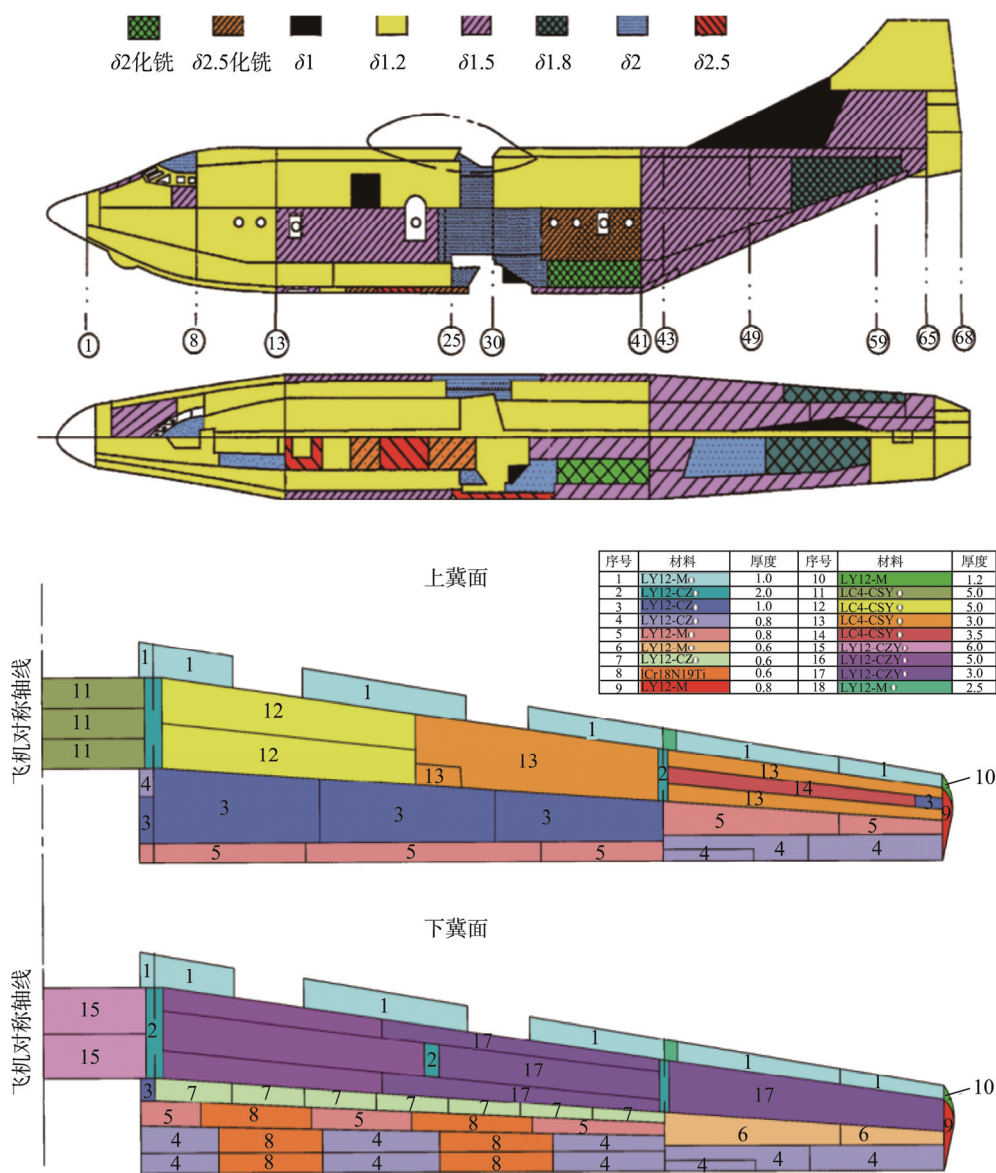


图4 机体材料及厚度分布

由图4可知,该机型机身受力壁板厚度最小值为 2 mm,机翼不受力的力臂厚度为 0.6 mm 和 1 mm,机翼受力壁板的厚度为 2.5, 3, 5, 6 mm。由修理手册对受力壁板的规定,结合图4求得机身壁板容限值为 0.3 mm,机翼壁板容限值分别为 0.375, 0.45, 0.75, 0.9 mm。综上所述,选取最小损伤厚度 0.3 mm 作为该机型损伤的标准。

2.4 某型飞机日历寿命分析

该机型大部分蒙皮材料为 2A12-T3 铝合金,文中

假定损伤容限为 1 mm,由图3对应的 $T-H$ 曲线求得不同湿度情况下温度 T 对应的腐蚀时间 H ,见表4。

表4 该机场 H/h 对应值

相对湿度/%	H/h			
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
70	772 800	675 055	592 911	526 400
80	520 800	438 327	377 095	330 400
90	268 800	201 600	161 280	134 400
100	500	1407	75	1.7

结合表 3、表 4，得到：

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k \frac{h_i}{H_i} = 0.023\ 92$$

将数据带入式（2）得：

$$\lambda = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k \frac{h_i}{H_i}} \approx 42$$

计算得机体厚度 0.3 mm 对应的寿命 $\lambda_{0.3} \approx 13$ 。这里假定该机型的涂层日历寿命为 10 年，翻修次数为 3 次，由计算模型（1）可以得到其总的日历寿命为 53 年。

3 结论

1) 文中给出的飞机结构日历寿命的求解涉及到四个参数：一是金属涂层的日历寿命 λ_m ，一般 λ_m 由制造厂给出；二是机体材料的腐蚀容限 D_c ；三是机体材料腐蚀至 D_c 所需的年限 λ ；四是飞机的翻修次数 n 。

2) 文中机体材料的腐蚀容限 D_c 由修理容限获得，也可以通过机体危险部位的静强度、疲劳强度和断裂强度分析获得。

3) 求解 λ ，需要获取材料在腐蚀容限下的 $T-H$

曲线，由此曲线得知时间 H ，结合试验地区的环境谱，进而由日历寿命求解模型求得 λ 。

参考文献：

- [1] 石荣, 李郑琦, 王学德, 等. 飞机结构日历寿命研究现状及关键问题[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2008, 28(6): 381-385.
- [2] 陈群志, 康献海, 刘健光, 等. 军用飞机腐蚀防护与日历寿命研究[J]. 中国表面工程, 2010, 23(4): 1-6.
- [3] 张福泽. 金属机件腐蚀损伤日历寿命的计算模型和确定方法[J]. 航空学报, 1999, 20(3): 75-79.
- [4] 张福泽. 金属腐蚀“3 等线”和试验日历寿命确定方法[J]. 航空学报, 2016, 37(2): 371-380.
- [5] 张福泽. 金属涂层的日历寿命计算公式和试验方法[J]. 航空学报, 2016, 37(2): 390-396.
- [6] 张福泽. 三维等损伤环境谱的编制原理和方法[J]. 航空学报, 2016, 37(2): 381-389.
- [7] 张福泽. 金属任意腐蚀损伤量的日历寿命计算模型和曲线[J]. 航空学报, 2017, 38(9): 254-263.
- [8] 刘文珽, 杨洪源, 贺小帆. 腐蚀条件下民机结构疲劳寿命评定方法研究[J]. 航空学报, 2004, 30(8): 753-756.
- [9] 刘文珽, 王忠波. 一种飞机结构日历寿命延寿方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(6): 642-646.
- [10] 杨晓华, 金平. 飞机使用环境谱的编制[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 99-102.