

飞机结构寿命包线的确定方法

何宇廷, 范超华

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:在飞机结构寿命包线概念基础上,阐述了基准使用条件下由实验确定飞机结构寿命包线的基本方法及工程简化方法,进一步说明了在非基准使用条件下实验确定飞机结构寿命包线的基本方法及工程简化方法,为实现飞机结构单机寿命(疲劳寿命和日历寿命)监控奠定了基础。

关键词:飞机结构;寿命包线;寿命监控;大修间隔期

中图分类号: V216.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)06-0001-03

对于飞机结构寿命(疲劳寿命及日历寿命)的单机监控,国内外都已进行了大量研究^[1-5]。国内开展过基于飞参数据的单机疲劳寿命监控,但未充分考虑腐蚀环境对疲劳寿命的影响,也没有对飞机结构的日历寿命进行有效的监控。西方国家已在军用飞机上全面推广单机寿命监控的管理方法,取得了显著的经济和军事效益。另外,西方技术发达国家十分注重防腐研究及飞机结构的防腐设计,并且发达国家飞机的飞行强度较高,疲劳寿命与日历寿命指标相匹配,日历寿命问题不突出,疲劳寿命是控制飞机结构使用寿命的主要指标。而我国的防腐技术与西方国家相比有较大差距,在进行飞机结构使用寿命管理和单机寿命监控过程中,必须重视飞机的日历寿命问题。笔者研究了飞机结构寿命包线的概念以及根据飞机结构寿命包线进行单机寿命监控的方法^[6-7]。本文对飞机结构寿命包线的工程确定方法进行初步研究。

1 基准使用条件下飞机结构寿命包线的确定

1.1 基准使用条件下飞机结构寿命包线确定的基本方法

在目前理论研究还不成熟的情况下,飞机结构寿命包线只能通过实验方法建立。基准使用条件对应基准疲劳载荷条件与基准腐蚀环境条件。基准疲劳载荷条件是指固定的飞行大纲所对应的基准疲劳载荷谱作用;基准腐蚀环境条件是指固定的典型机场使用情况,以反映基准腐蚀环境谱作用。

通常情况下,飞机出厂交付使用时所给定的疲劳寿命值可以认为是飞机结构在基准疲劳载荷谱作用下且不考虑腐蚀环境作用的值,用 N_0 表示。飞机在实际服役过程中,包括地面停放与空中飞行2个作用阶段,地面停放腐蚀作用与空中飞行腐蚀疲劳作用是多次交替出现的,并将产生耦合作用。这种交替作用的影响目前还无法用分析方法解决,只能通过腐蚀-腐蚀疲劳交替试验予以研究。具体步骤如下:

1) 得到 N_0 后,根据影响飞机结构寿命的一些关键部位材料及应力特点,对主要的可用以判定结构寿命特征的部位进行模拟试验。在忽略防腐涂层作用情况下,选定疲劳载荷谱为基准谱,腐蚀环境谱也为基准谱,根据一定的飞行强度条件来搭配基准疲劳载荷谱与基准腐蚀环境谱的作用时间,按照“地面腐蚀环境谱-空中飞行环境谱+疲劳载荷谱”的顺序交替循环加载,直到试件破坏到寿,从而可得到一组试验结果(N_f , Y_i)。其 N_f 就为在基准使用条件下在这一特定飞行强度条件下的疲劳寿命值, Y_i 则为其对应的日历寿命值。

2) 选用不同的飞行强度条件,仍按照上述步骤进行循环加载试验,就可得到试件在基准使用条件下的无数个寿命值点,从而可绘出图1。图1C点表示试件疲劳寿命为0(或无疲劳载荷作用)时的情况。显然,对于实际飞机结构,腐蚀损伤的容限还要受结构静强度及稳定性等方面的影响。通常情况下由于静强度要

求对应的载荷比疲劳载荷要大得多,因此对腐蚀损伤(如面积、深度等)的允许程度也比疲劳载荷要求的要小。故而,考虑静强度及刚度等的要求后,图1所示的飞机结构寿命包线可表示为图2的基准使用条件下修正的飞机结构基本寿命包线。其中 D 点代表由于结构静强度及刚度所要求控制的腐蚀日历寿命值。图2是制定飞机结构各次大修间隔期寿命包线图的基础。

为保持飞机结构的固有可靠性,在服役期间,通常都要对飞机结构进行几次翻修(大修)。大修间隔期是根据结构的损伤度而确定的。比如按照等损伤度原则对飞机结构在服役总寿命期间进行 n 次大修,则每次大修的时机由损伤度“ $1/n$ ”确定。依据图2,取一系列点(N_f/n , Y_i/n)即可绘制出基准使用条件下飞机结构大修间隔期基本寿命包线图3。同理可确定按不同损伤度原则的大修间隔期寿命包线图。

由于新出厂的飞机及大修出厂的飞机通常都要对结构进行表面防腐处理,可以认为在防腐涂层失效前,结构只有单纯的疲劳作用,腐蚀环境对结构的寿命没有影响。于是考虑防腐涂层作用的基准使用条件下飞机结构大修间隔期寿命包线为图4,其中 Y_0 为防腐涂层的最低日历有效期。依据图4最终可类似地叠加确定出飞机结构在基准使用条件下的总寿命包线图5。

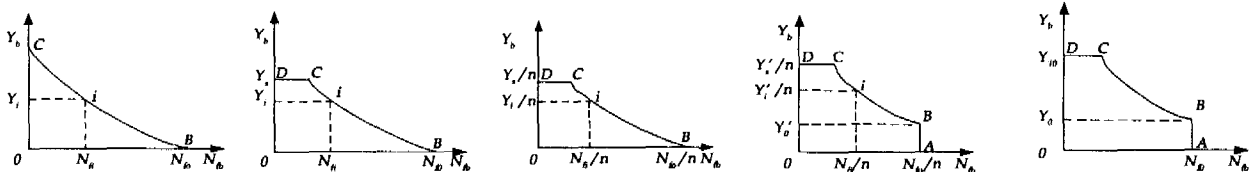


图1 基本寿命包线

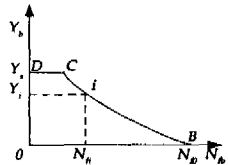


图2 修正的基本寿命包线

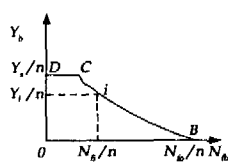


图3 大修间隔期基本寿命包线

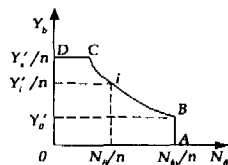


图4 大修间隔期寿命包线

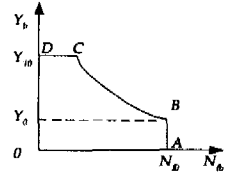


图5 总寿命包线

1.2 基准使用条件下飞机结构寿命包线确定的工程简化方法

根据已有的研究结果^[3],我军飞机可以认为,地面停放腐蚀影响占主导地位,空中飞行环境下腐蚀影响相对较小;空中环境在全部载荷谱施加过程中可以认为是不变的;腐蚀—疲劳交替作用的影响可忽略不计。可以通过一系列的预腐蚀疲劳试验来确定基准使用条件下飞机结构的大修间隔期寿命包线及总寿命包线图。

依据文献[3],腐蚀对飞机结构疲劳寿命的影响系数 $m(T)$ 可表示为 $m(T) = kC(T)$ 。 $C(T)$ 为飞机结构停放腐蚀(预腐蚀)修正系数 C_f 随时间的变化曲线,反映地面停放腐蚀环境对飞机结构疲劳寿命的影响; k 为空中环境腐蚀疲劳影响系数,在这里为一常数, T 为日历时限(年或月)。飞机结构经历 T 年(月)的腐蚀环境后的疲劳寿命可表示为 $N_f^{(T)} = N_f m(T)$ 。依据此式即可建立起图1所示的在基准使用条件下飞机结构的基本寿命包线图。在考虑飞机结构静强度、刚度对腐蚀损伤容限的要求以及防腐涂层的作用后,即可建立起图4的在基准使用条件下飞机结构大修间隔期寿命包线图及总寿命包线图。

2 非基准使用条件下飞机结构寿命包线的确定

对于实际的飞机结构,由于飞机使用状态及机场条件的不同,可以认为大多均在非基准使用条件下服役。当飞机结构在非基准使用条件下服役时,对应于非基准疲劳载荷谱与非基准腐蚀环境谱,包括地面停放环境谱与空中飞行环境谱。这时确定飞机结构寿命包线的基本方法仍是实验确定法,类似于基准使用条件下飞机结构寿命包线确定的基本方法。即依据飞机结构疲劳定寿试验结果,采用关键部件分类及试件模拟试验再结合综合分析确定的方法。

1) 首先分析飞机结构在服役过程中遭遇到的各种疲劳载荷谱与腐蚀环境谱,根据实际情况划分出各类“地面腐蚀环境谱—空中飞行环境谱+疲劳载荷谱”组合情况。

2) 对于每一种组合情况,根据某一定的飞行强度条件来搭配疲劳载荷谱与腐蚀环境谱的作用时间,按照“地面腐蚀环境谱—空中飞行环境谱+疲劳载荷谱”的顺序交替循环加载试验,直到试件破坏到寿,从而得到一组试验结果(N_f, Y_i)。继续选用不同的飞行强度条件进行试验,最终可得到在这一特定“疲劳载荷谱+腐蚀环境谱”组合条件下的飞机结构基本寿命包线图。再考虑结构静强度与刚度等对腐蚀损伤容限的影响以及防腐涂层的作用,最终可得到与图4类似的在该“疲劳载荷谱+腐蚀环境谱”组合情况下的飞机结构大修间隔期寿命包线图以及图5类似的总寿命包线图。

3) 对于不同的“疲劳载荷谱+腐蚀环境谱”组合情况,可类似试验得到在不同飞行强度条件下飞机结构

大修间隔期寿命包线图6。同理可得到相应的飞机结构总寿命包线图。

在精度要求不太高的情况下,也可采用确定基准使用条件下飞机结构寿命包线的工程简化方法来确定在各种“地面腐蚀环境谱+空中飞行环境谱+疲劳载荷谱”组合情况下飞机结构大修间隔期寿命包线及总寿命包线,从而得到非基准使用条件下飞机结构大修间隔期寿命包线及总寿命包线。当精度要求较高时,还有待于发展更好的工程简化方法,同时相关理论研究工作还有待于加强。

3 结论

关于飞机结构日历寿命问题的定量研究是一个十分复杂的问题(比如维修水平及驾驶员的技术水平等本文就没有考虑),本文仅从学术研究的角度出发,试图探究飞机结构寿命包线的确定方法。对于实际工程应用问题仍有大量的工作需要完成。从以上分析可以得到如下结论:

1) 基准使用条件下飞机结构寿命包线基本确定方法是实验确定。即结合飞机结构疲劳定寿结论,通过模拟实验确定飞机结构在基准使用条件下的基本寿命包线,再根据飞机结构静强度、刚度等对腐蚀损伤容限的限制以及考虑防腐涂层作用,最终可得到在基准使用条件下大修间隔期寿命包线及总寿命包线。

2) 从工程简化角度出发,将空中飞行腐蚀疲劳的环境作用及“腐蚀-疲劳”交替作用一并简化归于“预腐蚀疲劳”中的腐蚀环境作用,从而可用“预腐蚀疲劳”试验来确定基准使用条件下飞机结构的寿命包线。更高精度的工程简化方法及相关理论研究还有待于加强。

3) 可用确定基准使用条件下飞机结构寿命包线方法来类似确定非基准使用条件下飞机结构寿命包线。

4) 在确定了飞机结构寿命包线的基础上,即可依据文献[7]中提供的方法对不同服役条件(不同飞行强度,不同服役环境及不同飞行科目计划等)下飞机结构服役寿命进行单机监控。

参考文献:

- [1] 张 栋. 确定飞机机体日历寿命的方法[J]. 航空学报, 1999, 20(6): 558-561.
- [2] 张福泽. 飞机日历寿命确定的区域定寿法[J]. 航空学报, 2001, 22(6): 549-552.
- [3] 刘文斑, 李玉海, 王向明, 等. 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] 陈群志, 刘文斑. 腐蚀环境下飞机结构日历寿命研究现状与关键技术问题[J]. 中国安全科学学报, 2000, (3): 42-47.
- [5] 殷建新, 宋智桃. 飞机结构腐蚀与使用寿命研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2005, 20(6): 623-626.
- [6] 何宇廷. 飞机结构寿命包线的建立[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(6): 4-6.
- [7] 何宇廷. 基于飞机结构寿命包线的飞机结构单机寿命监控[J]. 中国工程科学, 2006, 8(6): 23-27.

(编辑: 姚树峰)

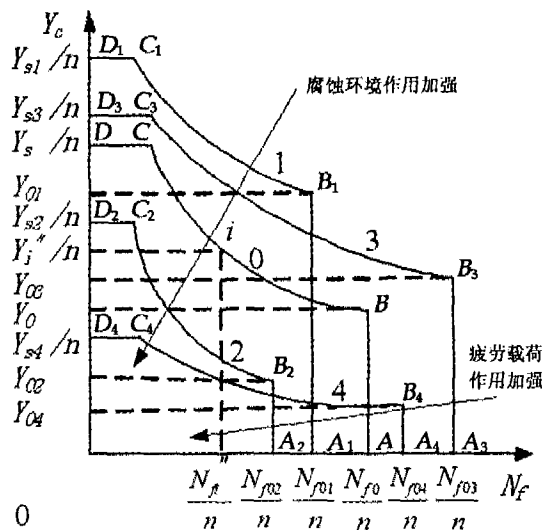


图6 非基准使用条件下结构
大修间隔期包线

Determination of Aircraft Structural Life Envelope

HE Yu-ting, FAN Chao-hua

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the introduction of the concept of aircraft structural life envelope (ASLE), the basic approach and practical engineering method of determining ASLE by experiments under the baseline operational conditions are presented, as well as the basic approach and practical engineering method of determining ASLE by experiments under non-baseline operational conditions. The determination of ASLE will pave the way for Service Life (i.e. fatigue life and calendar life) Supervision for Individual Aircraft Structural System.

Key words: aircraft structure; life envelope; service life supervision; time between overhauls