

# 飞机结构寿命包线的建立

何宇廷

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘 要:**在分析现有飞机结构寿命指标及其确定方法的基础上,提出了飞机结构寿命包线的概念,给出了建立飞机结构寿命包线的方法,并绘制出了基于飞机结构总寿命以及首翻期/翻修间隔期的飞机结构寿命包线示意图。飞机结构寿命包线的建立将为进一步对飞机结构进行单机寿命(疲劳寿命与日历寿命)监控奠定基础。

**关键词:**寿命;疲劳寿命;日历寿命;飞机结构;寿命包线

**中图分类号:** V216.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1009-3516(2005)06-0004-03

对军用飞机而言,要实现所承担的作战使命,除应具有先进的飞行性能指标外,还要满足长寿命、高可靠性以及高经济性的要求。在安全可靠的前提下满足长寿命的要求是实现经济性最重要的保证。国军标<sup>[1]</sup>中明确提出了使用寿命的参数——飞行小时(起落)数和使用年限。在当前实际寿命管理中以先到者为准,宣告飞机到寿,从而报废。实际上,飞机的总寿命主要由整机结构的总寿命决定,飞机结构的使用寿命是决定飞机使用寿命的基础。飞机结构使用寿命的确定及管理对飞机使用寿命的确定及管理起着决定性的作用,也将直接影响飞机的安全性及经济性。本文试图用建立飞机结构寿命包线的方法实现对飞机结构寿命的准确确定和高效管理。

## 1 飞机结构寿命指标

飞机结构的寿命指标是保障飞行安全的重要参量,通常包括疲劳寿命和日历寿命两个主要指标。飞机只有在规定的使用寿命期内使用才是安全的。飞机结构的总寿命通常是经过数次大修来实现的。飞机结构的疲劳寿命与日历寿命指标通常由对应的首翻期、修理(大修)间隔期和总寿命组成。疲劳寿命和日历寿命的首翻期、修理间隔期及对应的修理次数是以实现飞机结构疲劳与日历寿命研制指标为目的,经过设计后的寿命评定(包括分析与试验)给出的。从经济性考虑,在保证安全性与可靠性的前提下,飞机结构首翻期与翻修间隔期越长越好。

## 2 飞机结构寿命的确定

飞机结构寿命的确定包括飞机结构疲劳寿命的确定与日历寿命的确定。

目前我国用于军用飞机疲劳设计要求和评定准则的规范主要是文献[2]、[3]。通常,飞机结构疲劳寿命的确定(或称为疲劳定寿)就是通过对飞机结构的每个关键件的关键危险部位采用疲劳和损伤容限分析方法进行寿命估算或疲劳强度评估,以评定所设计的结构能否达到设计疲劳寿命指标的要求;然后再通过全尺寸结构疲劳试验加以验证和判定。在此基础上,对分析和试验结果进行综合评定,给出飞机结构的疲劳寿命,包括首翻期、检修间隔期、总寿命以及对应的检修大纲。

飞机结构的日历寿命取决于易腐蚀主要承力件的日历寿命。飞机结构的日历寿命体系也由日历首翻

收稿日期:2005-05-16

基金项目:国防预研基金资助项目(402030101)

作者简介:何宇廷(1966-),男,四川阆中人,教授,博士生导师,主要从事飞行器设计研究。

期、日历翻修间隔期及日历总寿命组成。飞机结构日历首翻期是指飞机结构能够达到的安全而经济的最大(或最优)服役日历年限。日历寿命作为一种寿命指标,是安全性和经济性的统一。安全性用腐蚀损伤容限(Dc)要求给以保证;经济性则由腐蚀修理标准允许值(de)要求来保证,它与全程腐蚀控制及其成本密切相关。飞机结构日历寿命的确定方法通常是用易腐蚀的结构主要承力件,在当量环境谱下进行加速腐蚀试验。根据所测的腐蚀损伤尺寸的累积变化规律和腐蚀损伤容限来估算其日历寿命,并依据使用经验(外场信息)进行必要的验证和修正,最终给出飞机结构的日历寿命。确定飞机结构日历寿命的技术路径和程序框图可参见文献[4]、[5]、[6]、[7]。

### 3 飞机结构寿命包线的建立

上述飞机结构寿命的确定方法为现今常用的方法,在我国航空工业的发展中发挥过非常重要的作用。然而这种传统的定寿方法往往给出的是飞机在基准使用条件(对应基准疲劳载荷谱与基准腐蚀环境谱作用,下同)下的一对寿命值,其本质上代表了飞机结构在某一个特定服役条件“点”状态下的寿命特征。它们没有计及飞机的实际服役环境与使用情况,也没有考虑飞机结构的日历寿命与疲劳寿命在飞机的实际服役使用过程中的相互影响。比如飞机结构服役日历时间越长,则其结构疲劳品质降低越多,对应的实际疲劳寿命值越短;同样,飞机结构的疲劳行为也会加速飞机结构件表面防护层的失效并促进结构件中基体材料腐蚀作用的发生。在文献[4]、[7]中对飞机结构日历寿命体系评定技术进行了较深入完整的研究,对日历时间给予飞机结构寿命的影响也进行了相应的理论与试验研究,取得了一些很好的结果。

为了最终实现飞机结构寿命(疲劳寿命和日历寿命)的单机监控以充分挖掘飞机结构的寿命潜力,这里提出飞机结构寿命包线的概念并给出其建立的基本方法。飞机结构寿命包线是飞机结构安全服役使用的寿命范围,与飞机飞行包线一道构成在飞机正常服役使用过程中保证飞机结构安全性的两大基石。飞机飞行包线保证飞机在每次飞行中的结构安全性,飞机结构寿命包线保证飞机在整个寿命期内的飞行安全性。

选取飞机结构的基准疲劳寿命值  $N_0$  (即基准疲劳载荷谱作用下的疲劳寿命)为横坐标,飞机结构的基准日历寿命值  $Y_0$  (即基准腐蚀环境谱作用下的日历寿命)为纵坐标,并考虑其日历寿命与疲劳寿命的相互影响关系,对于金属结构飞机,寿命包线图可示意为图1。

图中, A 点对应的  $N_0$  为飞机结构在基准使用条件下疲劳寿命值,通常在新机定型时由全尺寸疲劳试验(或耐久性试验)及损伤容限试验结果加分析评估确定; B 点对应的  $Y_0$  为飞机结构表面防护层在基准使用条件下的最低日历有效期; C 点对应的  $Y_{T0}$  为飞机结构在基准使用条件下无疲劳载荷作用时的最大日历寿命值。直线 AB 段表示在飞机结构表面防护层失效前飞机结构的疲劳寿命与日历寿命无关(忽略时间和环境对材料微观组织的影响);曲线 BC 段表示在飞机结构表面防护层失效后飞机结构日历寿命与疲劳寿命的相互影响关系。很明显,只要飞机在 OABCO 寿命范围内使用就是安全的。其中, ABC 为飞机结构寿命的边界线。实际图1 飞机结构寿命包线图上,现行的飞机结构寿命指标值仅为图1 寿命包线区域内一点,虽保证了飞行安全,但却没有充分发挥飞机结构的寿命性能。

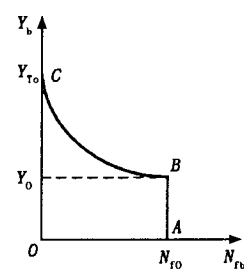


图1 飞机结构寿命包线图

通常情况下,为保证飞机结构的可靠性与安全性,飞机结构在总寿命期内要进行若干次大修,第一次大修称为首翻。通常首翻期要比后面的翻修间隔期要长。考虑首翻期/翻修间隔期的飞机结构寿命包线(或翻修间隔期包线)可由图2表示。图中各曲线代表各次翻修时应执行的寿命包线。比如,曲线1表示进行首翻时应执行的寿命包线。首翻过后,到第二次翻修则应执行曲线2寿命包线,依次类推。依据实际情况,图中几条寿命包线可能重合,也可能不重合。

考虑飞机结构首翻期/翻修间隔期的飞机结构寿命包线(或翻修间隔期包线)还可表示成图3(图中表示了4次翻修情况下对应的包线)。如果仅有两次翻修,则寿命包线图仅由图3中1曲线和2曲线组成。如果翻修次数超过4次,则可将第5次至第8次翻修间隔期包线作于另一张图上,依次类推。依据实际情况,图中  $N_{i1}$ 、 $N_{i2}$ 、 $N_{i3}$ 、 $N_{i4}$  可能相等,也可能不相等;参数  $(y_1, y_2, y_3, y_4)$  与  $(Y_{T1}, Y_{T2}, Y_{T3}, Y_{T4})$  也有类似情形。

由于飞机结构寿命包线图是在基准使用条件下给出的,因此可以此为基础,依据飞机的实际使用情况及服役环境条件建立相应的飞机结构寿命包线图,从而实现单机使用寿命(包括疲劳寿命与日历寿命)监控,

以充分挖掘飞机结构的寿命潜力,在保证安全性的前提下,提高飞机的经济性。

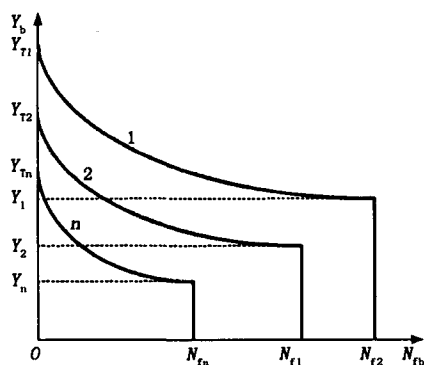


图2 飞机结构各次翻修间隔期包线图

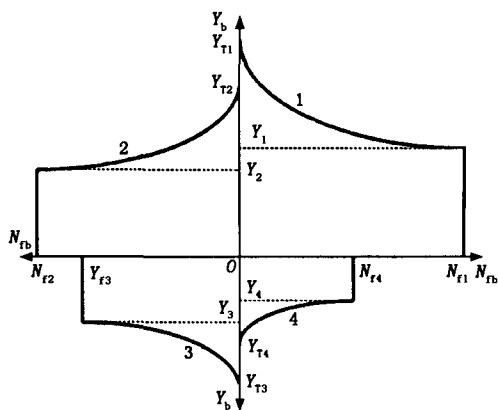


图3 飞机结构各次翻修间隔期包线图其他表示

## 4 结论

飞机结构的使用寿命指标通常包括疲劳寿命与日历寿命。飞机在出厂交付使用时,人们已有一套切实可行的方法确定其疲劳寿命与日历寿命。但这两种寿命值均是在基准使用条件下给出的,对应飞机结构在某特定服役条件“点”状态下的寿命值,不能代表飞机结构在实际各种服役条件下的寿命特征。为了既保证飞行安全,又充分利用飞机结构的固有寿命值,本文提出了飞机结构寿命包线的概念,给出了绘制飞机结构寿命包线的基本方法,为进一步实现对飞机结构进行单机寿命监控奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] GJB1989.5-94. 装备可靠性维修性参数选择和指标确定要求(军用飞机)[S].
- [2] GJB67.6-85. 军用飞机强度和刚度规范,可靠性要求和疲劳载荷[S].
- [3] GJB775.1-89. 军用飞机结构完整性大纲,飞机要求[S].
- [4] 刘文琰,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.
- [5] 张福泽. 裂纹形成寿命的类比估算法[J]. 航空学报,1982,3(2):51-60
- [6] 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.
- [7] 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.

(编辑:姚树峰)

## Establishment of Aircraft Structural Life Envelope

HE Yu-ting

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

**Abstract:** Based on the analysis of present aircraft structural life index and its determination, the concept of Aircraft Structural Life Envelope (ASLE) is presented, as well as the approach to the establishment of ASLE. The schematic diagram of ASLE is given based on the total life and the time interval between overhauls. The establishment of ASLE will pave the way for the structural life ( i. e. fatigue life and calendar life ) supervision for individual aircraft.

**Key words:** life; fatigue life; calendar life; aircraft structure; life envelope