

# 综合使用飞行小时在飞机构件 腐蚀疲劳寿命分析中的应用

林明, 金平, 孙明礼

(海军航空工程学院青岛分院, 山东青岛 266041)

**[摘要]** 飞机使用环境谱中飞行环境谱和停放环境谱的组合就是飞行—停放—飞行环境谱。大多数军用飞机地面停放时间占飞机使用寿命的90%以上。海军飞机所处的高温、高湿、高盐雾腐蚀环境对飞机使用寿命有很大影响。腐蚀疲劳直接影响疲劳裂纹形成寿命。飞机使用寿命必须应用飞机使用环境谱, 考虑飞行小时、日历时间和综合使用飞行小时。列举海军某直升机主桨毂轴向铰轴颈裂纹故障, 通过波音公司飞机结构疲劳分析方法, 在飞行小时、日历时间和综合使用飞行小时方面对其翻修期进行了探讨。

**[关键词]** 腐蚀; 腐蚀疲劳; 飞行小时; 日历时间; 综合使用飞行小时

## 1 引言

据统计, 在机械破断事故中疲劳破坏占50%~90%。凡是承受循环载荷或随机载荷的机件, 其主要破坏形式是疲劳破坏<sup>[1]</sup>。飞机使用环境谱中飞行环境谱和停放环境谱的组合就是飞行—停放—飞行环境谱<sup>[2]</sup>, 它是飞机构件使用寿命分析的基础。大多数军用飞机地面停放时间占飞机日历使用寿命的90%以上。海军飞机长期停放在高温、高湿、高盐雾的环境中, 使用环境恶劣、腐蚀严重。在海军水上飞机疲劳定寿中, 考虑腐蚀影响, 其寿命降低了40%~60%<sup>[3]</sup>。通过飞机地面局部环境谱与飞机飞行局部环境谱的组合, 可编制出飞机使用局部环境谱<sup>[4,5]</sup>。这种环境谱能够真实地反映飞机疲劳危险部位腐蚀疲劳的外部环境。腐蚀疲劳是交变应力作用下的一种局部腐蚀, 是腐蚀的一种类型, 它直接影响着疲劳裂纹形成寿命。飞机构件使用寿命的确定, 必须应用飞机使用环境谱, 考虑飞行小时、日历时间和综合使用飞行小时。本文在阐述飞机使用环境谱的基础上, 提出综合使用飞行小时的概念, 列举海军某直升机主桨毂轴向铰轴颈裂纹故障, 通过波音公司飞机结构疲劳分析方法, 在

飞行小时、日历寿命和综合使用飞行小时方面对其翻修期进行探讨。

## 2 综合使用飞行小时

飞机使用寿命以日历持续时间(a)计称为飞机日历寿命。它是一种从经济角度确定的经济寿命。在日历寿命期内, 只要飞机的飞行小时数未超过使用寿命指标, 就能确保飞行安全。飞机结构的日历寿命和飞行载荷作用下的疲劳寿命(飞行小时数), 是飞机结构使用寿命的两个重要指标, 缺一不可。

飞机使用寿命受到连接件所用材料机械性能降低、结构材料腐蚀、以及使用和储存条件和持续时间引起的其他性能变化等影响。因此在确定飞机使用寿命时, 应考虑这些引起原始强度性能降低的因素。在某一特定环境, 飞机结构是在交变载荷作用下工作的, 承受着机械载荷(循环载荷)和环境介质的双重作用。研究腐蚀疲劳问题时, 材料特性、环境介质和加载状态是必须考虑的三个重要因素。环境介质对结构材料的破坏主要表现为脆化和锈蚀。腐蚀和疲劳有着直接联系, 直接影响疲劳裂纹形成寿命<sup>[6]</sup>。腐蚀疲劳是环境、材料微观组织结

构和循环载荷之间发生交互作用的过程。由于腐蚀疲劳的机制与具体的材料—环境—载荷系统有关,因而对这一复杂过程做定量的模型化研究仍处于初级阶段<sup>[7]</sup>。

鉴于海军飞机停放状态环境恶劣,以及飞机结构腐蚀严重的实际情况,海军飞机在地面停放期间主要考虑飞机结构的腐蚀,而在飞行中则主要考虑飞机结构的腐蚀疲劳。这种飞机结构“腐蚀(停放)—腐蚀疲劳(飞行)—腐蚀(停放)”的循环作用,直接影响着飞机构件的使用寿命。飞机使用寿命实际上既不能单纯考虑飞机地面停放期间飞机结构腐蚀的日历时间,也不能单纯考虑飞行中飞机结构腐蚀疲劳的飞行小时,而必须应用飞机使用环境谱,把日历时间、飞行小时组合成综合使用飞行小时,定性和定量相结合,从宏观上分析探讨飞机构件的使用寿命,如式(1),

$$t_Z = t_F + K \left( t_S - \frac{t_F}{D} \right) \quad (1)$$

式中  $t_Z$  为综合使用飞行小时 (h);  $t_F$  为使用飞行小时 (h);  $t_S$  为使用日历时间 (a);  $D$  为飞机构件使用飞行小时  $t_F$  与使用日历时间  $t_S$  的当量系数 (h/a);  $K$  为转换系数,由飞机构件实际使用情况取经验值 (h/a)。

### 3 应用举例

海军某直升机主桨毂轴向铰轴颈裂纹开始于第2和第3螺纹之间的深处。抽查主桨毂中的30个轴颈,发现其中8个轴颈有裂纹,轴颈裂纹长度2~14 mm,轴颈裂纹发生在  $t_F = 900 \sim 1\,000$  h 较多。

利用波音公司分析思路评估某直升机主桨毂轴向铰轴颈的翻修期。由飞机结构耐久性损伤容限设计手册<sup>[8]</sup>的分析方法,可知三参数威布尔分布函数,当最小寿命  $\lambda = 0$  时,便得到双参数威布尔分布函数:

$$F(N) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{N}{\beta} \right)^\alpha \right], N \geq 0 \quad (2)$$

双参数威布尔分布与三参数威布尔分布相比,常给出保守的结果,从(2)式可得双参数威布尔分布概率密度函数:

$$f(N) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{N}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left[ - \left( \frac{N}{\beta} \right)^\alpha \right], \quad (3)$$

$$\text{式中特征寿命 } \beta = \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n N_i^\alpha \right)^{1/\alpha}, \quad (4)$$

$\alpha$  为形状参数,  $m$  为试件破坏数量,  $n$  为子样个数。

$$\text{安全寿命 } N_{95/95} = \frac{\beta}{S_T S_C S_R}, \quad (5)$$

式中  $S_T$  为试件系数,  $S_C$  为置信系数,  $S_R$  为可靠性系数。轴向铰轴颈材料为 30NCD16, 取置信度为 95%, 可靠度为 95%,  $S_T = 1$ ,  $S_C = 1.23$ ,  $S_R = 3.9$ ,  $\alpha = 2.2$ 。根据统计,取  $n = 90$ ,  $m = 8$ , 利用公式(4)和(5),考虑环境介质影响的寿命,

$$N_F = \frac{N_{95/95}}{F_C},$$

参考有关资料取  $F_C = 2.4$ ,按飞行小时  $t_F$  或使用日历时间  $t_S$  进行轴向铰轴颈翻修期估算,估算结果见表1。

表1 轴向铰轴颈翻修期估算

Table 1 Estimation of the overhaul life of the axle neck of axial hinge

$\beta$	$N_{95/95}$	$F_C$	$N_C = \frac{N_{95/95}}{F_C}$
1 749.8	364.8	2.4	$t_F = 152$ h
29.15	6.08	2.4	$t_S = 2.53$ a

某直升机维护规程规定,其维护检查和翻修周期除飞行时间外,还需在启封后的使用时限内完成。一般情况  $t_F = 300$  h 与  $t_S = 1$  a 是相当的。在兼顾飞行小时和日历时间后,以综合使用飞行小时  $t_Z$  概念来确定部件的翻修周期<sup>[9]</sup>。根据经验,取转换系数  $K = 75$  h/a,取当量系数  $D = 300$  h/a,由表1中原有数据按(1)式计算,结果见表2。

表2 轴向铰轴颈翻修期估算(综合使用飞行小时)

Table 2 Overhaul life estimation of the axle neck of axial hinge (comprehensive service flying hour)

$\beta$	$N_{95/95}$	$F_C$	$N_F = \frac{N_{95/95}}{F_C}$
3 482	725.8	2.4	$t_Z = 302$ h

由于各国使用某直升机的环境和飞行强度有区别,轴颈产生同样裂纹长度,其使用飞行小时和使用日历时间也有所不同。若应用上述综合使用飞行小时  $t_Z$  计算,采用不同的转换系数,由表3可看出轴颈产生相同裂纹长度  $L$ ,它们的综合使用飞行小时  $t_Z$  较接近<sup>[10]</sup>。

表3 轴向铰轴颈综合使用飞行小时

Table 3 Comprehensive service flying hour of the axle neck of axial hinge

轴颈	L/mm	$t_F/h$	$t_S/a$	$t_Z/h$
国内	8	710	8.62	1 648
国外	8	994	10.35	1 522

#### 4 结束语

本文通过综合使用飞行小时概念, 将材料特性、环境介质、加载状态等方面对腐蚀疲劳的影响综合起来, 把飞行小时、日历时间组合成综合使用飞行小时, 从宏观上定性和定量相结合来分析飞机构件的翻修期。由于飞机的使用环境是一个多元的随时间变化的函数, 因而建立一个能适应随机载荷、不同服役环境和多轴应力状态下的可靠的寿命预测模型, 成为目前最棘手又迫切需要解决的问题之一<sup>[1,4]</sup>。在实践研究中做好这方面工作, 探索其规律, 尚需作许多艰苦的工作。

#### 参考文献

- [1] 王德俊, 张瑞全. 我国机械工业中的疲劳问题 [A]. 第八届全国疲劳学术会议论文集[C]. 1997. 9

~11

- [2] 蒋祖国. 飞机结构腐蚀疲劳[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992. 106~108
- [3] 孙明礼, 段成美. 腐蚀对海军飞机使用寿命的影响 [A]. 第八届全国疲劳学术会议论文集[C]. 1997. 293~294
- [4] 金平, 段成美, 陈跃良. 飞机停放环境谱的编制 [A]. 第八届全国疲劳学术会议论文集[C]. 1997. 172~174
- [5] 段成美, 金平, 谭海昌. 编制飞机使用环境谱的技术途径 [A]. 第八届全国疲劳学术会议论文集[C]. 1997. 175~178
- [6] 申正金, 侯伟. 试谈飞机结构的腐蚀疲劳及其控制 [A]. 第八届全国疲劳学术会议论文集[C]. 1997. 295~298
- [7] Suresh S. 材料的疲劳 (第2版) [M]. 王中光等译. 北京: 国防工业出版社, 1999. 416~417
- [8] 航空航天工业部科学技术研究院. 飞机结构耐久性 & 损伤容限设计手册 第二册[M]. 1989
- [9] 林明. 某直升机尾桨毂使用寿命和使用时间相互关系的初探 [A]. 1993年中国航空学会可靠性工程学术年会文集[C]. 1993. 154~158
- [10] 林明, 金平, 孙明礼. 某直升机主桨毂轴向铰轴颈裂纹分析 [A]. 第八届全国疲劳学术会议论文集[C]. 1997. 355~358

## The Application of Comprehensive Service Flying Hour to the Failure Analysis of Corrosion Fatigue Life of Aircraft Components

Lin Ming, Jin Ping, Sun Mingli

(Naval Aeronautical Engineering Academy Qingdao Branch, Qingdao Island, Shandong 266041, China)

[Abstract] The aircraft service air-ground-air environmental spectrum consists of two parts: flying environmental spectrum and ground parking environmental spectrum. To most military aircrafts, the ground parking time accounts for more than 90% of the aircraft service life. The service life of aircraft is greatly influenced by the severe environment of naval aircraft where there are 3-highs: high temperature, high humidity and high salt-fog corrosion. The service life of aircraft must be determined based on the environmental spectrum of aircraft service, in which factors such as flying time, calendar time and comprehensive service flying time are taken into account. As a typical example, based on the analysis of the axle neck crack of axial hinge in certain type of naval helicopter by utilizing an analytical method of structural fatigue, the overhaul life of the hinge is discussed in respect of flying time, calendar time and comprehensive service flying time.

[Key words] corrosion; corrosion fatigue; flying time; calendar time; comprehensive service flying time