

# 飞机载荷-环境谱的编制

蒋祖国

(西安 73-2 信箱, 西安, 710089)

## THE COMPILATION OF AIRCRAFT LOAD-ENVIRONMENT SPECTRA

Jiang Zuguo

(Box 73-2 of Xi'an, Xian, 710089)

**摘要** 要进行飞机典型构件的腐蚀疲劳试验和分析, 就必须编制飞机载荷-环境谱。介绍了飞机载荷-环境谱的概念和分类, 提出了飞机载荷-环境谱的编制方法, 阐述了飞机当量环境谱的编制步骤。利用该方法编制了 N5A 飞机当量环境谱和载荷-环境谱。该方法具有通用性和工程实用价值, 可用于编制各种飞机的当量环境谱和载荷-环境谱。

**关键词** 腐蚀, 环境模型, 飞机技术规范

**中图分类号** V215.1

**Abstract** To do Corrosion Fatigue tests and analyses of typical Components of aircraft, the Compilation of aircraft. In this Paper the Concept and Classification of aircraft load-environment spectra are stated and compiling method of the spectra put out. Compiling procedure of aircraft equivalent environment spectra is mentioned. The equivalent environment spectra and the load-environment spectra of N5A aircraft have been compiled. The method is of general usage and engineering application, and can be used for compiling equivalent environment and load-environment spectra of different type aircraft.

**Key words** corrosion, environmental models, aircraft specification

按《军用飞机结构完整性大纲·飞机要求》和美国有关军用规范要求<sup>[1~3]</sup>, 应根据飞机的预计使用情况编制飞机设计使用载荷谱和化学/热/气候环境谱, 并形成飞-续-飞载荷-环境谱, 以用于飞机结构耐久性(或疲劳)和损伤容限试验和分析。

本文的目的是阐述飞机结构载荷-环境谱的有关问题, 并提出飞机结构载荷-环境谱的编制方法, 以用于飞机典型构件的腐蚀疲劳试验和分析。

## 1 飞机载荷-环境谱基础

### 1.1 飞机载荷-环境谱概念

在目前条件下, 对飞机整机或全尺寸部件进行腐蚀疲劳试验是不现实的, 一种可行的解决办法是选择一些既受严重疲劳载荷又受严重腐蚀环境影响的飞机结构危险部位, 进行典型结构件的腐蚀疲劳试验和分析, 以用于对试验室全尺寸飞机机体或部件疲劳试验结果进行修正。因此, 这里所说的载荷-环境谱主要用于飞机典型构件腐蚀疲劳试验和分析。还有, 这里说的载荷-环境谱, 并不是指载荷谱和环境谱的机械组合或叠加。事实上,

1992年12月24日收到, 1993年9月5日收到修改稿

这是两种性质完全不同的谱, 它们不可机械组合或叠加在一起。这里的载荷-环境是指: (1)腐蚀疲劳试验中试验载荷谱和当量环境谱同时施加; (2)在编制试验载荷谱时要考虑当量环境谱的施加, 同样, 在编制当量环境谱时要考虑试验载荷谱的施加。

### 1.2 载荷-环境谱分类

按照载荷谱和环境谱各自的幅值变化、环境个数及组成形式, 载荷-环境谱可分为以下 6 类, 如图 1 所示:

①恒载单一常环型载荷-环境谱。由常幅载荷谱和常环境强度的组合环境谱组成, 这是最简单的一种载荷-环境谱。

②恒载组合常环型载荷-环境谱。由常幅载荷谱和常环境强度的组合环境谱组成。

③变载单一常环型载荷-环境。由变幅载荷谱和常环境强度的单一环境谱组成。

④变载单一变环型载荷-环境谱。由变幅载荷谱和变环境强度的单一环境谱组成。

⑤变载组合常环型载荷-环境谱。由变幅载荷和常环境强度的组合环境谱组成。

⑥变载组合变环型载荷-环境谱。由变幅载荷谱和变环境强度的组合环境谱组成。

上述第①和第②种载荷-环境谱主要用于测定工程材料的腐蚀疲劳性能参数( $S-N$  曲线, 应变-寿命参数,  $da/dN-\Delta K$  曲线等)和腐蚀疲劳影响因素研究(如材料种类、环境种类、加载频率、波形、应力水平、热处理方式等)。上述第③至第⑥这 4 种载荷-环境谱主要用于飞机典型结构件的腐蚀疲劳试验和分析。

## 2 载荷-环境谱编制方法

上述 6 种载荷-环境谱中, 最复杂的是变载组合变环型载荷-环境谱, 只要能编制出这种载荷-环境谱, 其他 5 种载荷-环境谱的编制就迎刃而解了。因此下面就以变载组合变环型载荷-环境谱为主来概述载荷-环境谱的编制方法, 图 2 给出其编制方法框图, 一般按如下步骤进行:

①确定既受严重疲劳载荷并受严重腐蚀环境影响的结构关键部位, 并选择相应的典型构件。

②根据飞机结构使用载荷谱确定所选结构部位的局部载荷谱(和应力谱)。

③把选定结构部位的局部载荷谱变成相应典型构件的试验载荷谱。

④编制飞机使用环境谱, 并根据使用环境谱确定所选择结构部位的局部环境谱。

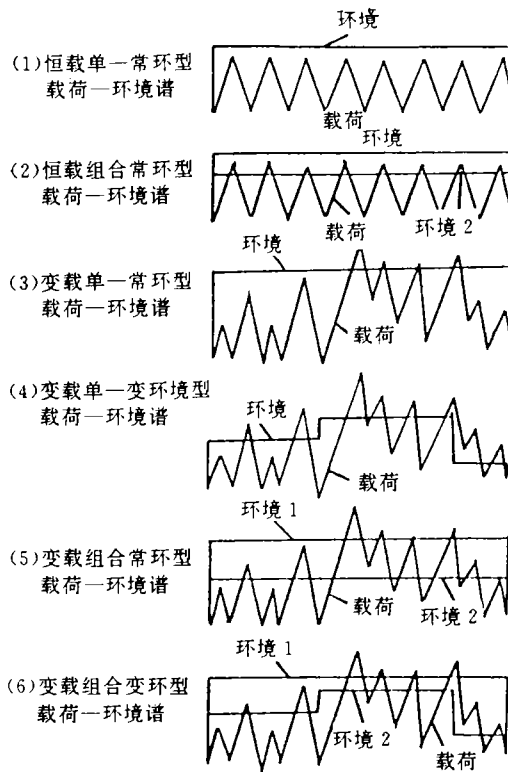


图 1 试验载荷-环境谱种类

⑤把选定结构部位的局部环境谱转换成相应典型构件的当量环境谱。该当量环境谱应包括当量环境飞行谱和当量环境停放谱。

⑥当量环境停放谱主要用于典型结构试件的预处理和试验间隙。

⑦由试验载荷谱和当量环境飞行谱形成飞-续-飞或程序块载荷-环境谱，以用于典型结构试件的腐蚀疲劳试验。

⑧确定在腐蚀疲劳试验的间隙期间(例如两个加载周期之间)对试件施于何种环境：当量环境飞行谱、当量环境停放谱、或者是暴露于干燥空气。

飞机载荷谱的编制我们是相当熟悉的了，因此在以上步骤中，最关键的是第④步和第⑤步，也就是使用环境谱和当量环境谱的编制。文献[4]阐述了编制飞机使用环境谱的任务-环境分析法。

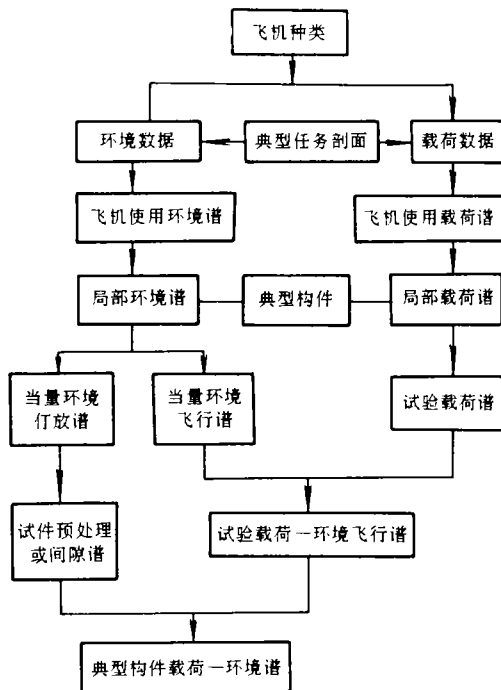


图 2 飞机典型构件载荷-环境谱编制方法框图

### 3 飞机当量环境谱的编制

按文献[4]所编制的飞机使用环境谱是飞机预计的真实环境谱，这类环境谱不能直接用于载荷和环境同时作用下的腐蚀疲劳试验。要进行这样的试验就必须把真实的使用环境谱转换成当量环境谱。

现提出一种把飞机使用环境谱转换成当量环境谱的方法，称之为当量换算法，其编制步骤如下：

①确定主要腐蚀环境。这要根据飞机结构部位和结构材料遭受严重腐蚀效应和腐蚀疲劳损伤的原则来确定。例如，通常来说，海军型飞机确定为盐水(或盐雾)、农林飞机确定为农药等。

②确定局部环境谱。主要根据选定的飞机结构把飞机总的的使用环境谱变成飞机结构部位局部的使用环境谱。

③确定加载频率。当已知加载频率和腐蚀疲劳损伤之间是不相关或弱相关时，可直接用较快的加载频率。当两者是强相关时，最好用飞机实际使用中的受载频率。当需要用较快的加载频率时，就要用两者的关系对试验结果进行换算。

④确定加载周期。例如，以一年的飞行小时为一个加载周期。

⑤确定载荷与环境同时作用下的环境作用持续时间，该时间即为当量环境谱的实际加载时间。用一个加载周期中载荷谱总累积频数乘以加载频率的倒数即可得到。

⑥确定环境强度分级和大小。为使环境模拟易于实现，环境强度分级宜粗不宜细，最

好不要超三级, 并且一种飞行任务剖面最好用一个环境强度。如果飞行任务剖面多于三种, 就要从环境强度角度对飞行任务剖面进行归并, 把相近环境大小的任务剖面归并成一种任务剖面。

一般来说, 可用每种任务剖面的加权环境强度作为该任务剖面的环境强度大小。有时也可用该任务剖面可能遭受的最大环境强度, 甚至还可人为地把这个最大环境强度加大到合理的程度。这样作可期望得到保守的试验结果, 同时还可缩短试验时间和节省试验经费。不过, 这需要事先通过探索性试验来确定环境强度和腐蚀疲劳寿命之间的定量关系, 并用这种关系来换算谱载下的腐蚀疲劳试验结果。

⑦考虑其他环境影响。可以用以下两种方法之一考虑其他环境的影响:

第一, 编制组合当量谱。主要根据其他环境的使用环境谱算出加权环境强度或当量环境强度, 并把这些环境强度加到主要环境的当量环境谱中(按上述第①~⑥步编制而成)。例如, 在农林飞机的当量环境谱中, 可同时考虑温度、相对湿度、农药溶液的 PH 值, 还可在农药中加进一定量盐份和硫化物等其他化学成份, 以形成组合当量环境谱。

第二, 通过经验或专门的试验找出主要环境和其他环境对飞机结构部位所占的比重, 即“权”。“权”不同, 材料在不同的环境里裂纹扩展能力亦不同, 不同环节的腐蚀疲劳损伤比亦不同, 因此可以根据“权”对主要环境当量谱的腐蚀疲劳试验结果进行换算。

按第①~⑦步编制的是谱载下的飞机结构当量环境飞行谱, 即当量环境空谱。由编谱过程看出: 编制当量环境谱本身似乎并不太困难, 也不是很复杂。难而繁的是: 第一, 加载频率与疲劳损伤之间的关系; 第二, 环境强度与腐蚀疲劳之间的关系; 第三, 主要环境与其他次要环境的腐蚀疲劳损伤比。这些关系也正是腐蚀疲劳研究和工程应用领域所要解决的一些问题。

⑧编制当量环境停放谱, 即当量环境地谱。

为了考虑飞机不使用期间某些环境对结构部位的腐蚀效应对使用寿命的潜在影响, 还应根据预计的停放环境谱编制当量环境停放谱。这种当量环境地谱的编制与用作腐蚀疲劳试验件的预处理方式有直接关系, 主要有以下两种情况:

第一, 如果作腐蚀疲劳试验的试件用大气暴露试验进行预处理, 在选择试件材料时, 应使大气暴露试验的环境条件与所编制的真实停放谱的环境条件相当。如果两者差别较大, 应找出两者对飞机结构材料的腐蚀效应关系, 从而把大气暴露试验的环境条件换算到真实停放谱的环境条件中去。

第二, 如果用实验室的环境模拟试验对试件进行预处理(包括预浸泡和预应力), 就要把真实停放环境谱浓缩成能进行加速环境模拟试验的当量环境谱。这种当量环境谱的环境强度可以与谱载下当量环境空谱的环境强度相同, 也可以用真实环境停放谱的加权环境强度或最大环境强度。环境持续时间视具体情况而定, 或长、或短、或适中。无论用什么样的环境强度和持续时间, 都应找出环境强度、持续时间和腐蚀效应之间的关系, 并用这种关系把试验结果换算到真实环境停放谱的环境条件中去。

从以上当量环境谱的编制过程可以看出, 所编制的飞机结构当量环境谱可以是单一环境的, 也可以是组合环境的; 可以是常幅环境强度的, 也可以是变环境强度的; 可以是当量环境飞行谱, 也可以是当量环境停放谱。究竟要编制什么样的当量环境谱, 这要根据飞机的使用环境、试验条件、经费能力等因素来决定。

## 4 实例

为了说明本文所阐述的飞机当量环境谱和载荷-环境谱编制方法的可行性, 现以 N5A 飞机为例给出其编谱结果。N5A 飞机是一种轻型农林用飞机, 主要用于喷撒农林药品, 故农药是其最主要的腐蚀环境。该飞机有作业飞行和转场飞行两种任务剖面, 有三种停放状态(飞行起落停放、飞行日停放和非飞行停放), 在设计基准区(温和区)和湿热区使用。在编制 N5A 飞机腐蚀环境谱时, 以一年作为一个循环加载周期, 在一年中有 400 飞行小时, 其余时间(8 360h)为停放时间。

根据 N5A 飞机预计的腐蚀环境, 编制了该飞机农药谱、温度谱、湿度谱、二氧化硫谱、颗粒物谱和酸雨谱等。

图 3 给出 N5A 飞机试验载荷-环境谱, 其中, 载荷谱是示意图, 环境谱以农药为代表。

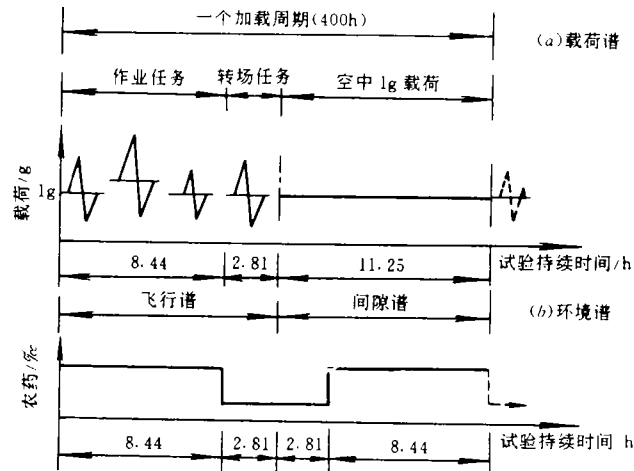


图 3 N5A 飞机试验载荷-环境谱

## 5 结论

(1) 飞机载荷-环境谱由飞机试验载荷谱和当量环境谱组成, 但不是这两种谱的机械组合或叠加, 而是指在作腐蚀疲劳试验时这两种谱同时施加。

(2) 编制飞机典型构件试验载荷-环境谱的关键是编制飞机当量环境谱。

(3) 编制飞机当量环境谱包括编制飞机当量环境飞行谱和当量环境停放谱, 前者用于和载荷谱一起构成飞机载荷-环境飞行谱, 后者用于对试件进行预处理或施加间隙谱。

(4) 通过对 N5A 飞机当量环境谱和载荷-环境谱的编制, 说明本文所阐述的载荷-环境谱的编制方法是可行的。

表 1 给出 N5A 组合当量环境谱。

表 1 N5A 飞机组合当量环境谱(一年)

当量谱组成		飞行谱		间隙谱		停放谱	
农药 %	谱 I	2.506	0.87	2.506	0.87	2.506	
	谱 II	5	0	0	0	5	
氯化钠 / %		3~10	0	3~10	0	0	
沙粒 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$		2.2	0	2.2	0	0	
湿热区	温度 / $^{\circ}\text{C}$	$40 \pm 2$		$40 \pm 2$		$20 \pm 2$	
	相对湿度 / %	$80 \pm 5$		$80 \pm 5$		35~90	
	二氧化硫 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.11		0.11		0.13	
	悬浮微粒 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.38		0.38		0.46	
	溶液 PH 值	农药 PH 值		农药 PH 值		农药 PH 值	5.5(800h)
设计基准区	温度 / $^{\circ}\text{C}$	$38 \pm 2$		$38 \pm 2$		$8 \pm 2$	
	相对湿度 / %	$70 \pm 5$		$70 \pm 5$		25~80	
	二氧化硫 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.10		0.10		0.14	
	悬浮微粒 / $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	0.73		0.73		0.89	
	溶液 PH 值	农药 PH 值		农药 PH 值		农药 PH 值	5.5(800h)
代表飞机使用时间 / h		300	100	300	100	8 360	
试验环境持续时间 / h		8.44	2.81	8.44	2.81	144 或 72	

## 参 考 文 献

- 1 美国军用规范·飞机结构通用规范, MIL-A-87221, 1985.
- 2 国家军用标准·军用飞机结构完整性大纲·飞机要求, GJB775.1-89, 1989.
- 3 美国军用规范·飞机强度和刚度·可靠性要求、重复载荷和疲劳, MIL-A-008866B, 1975.
- 4 蒋祖国. 编制飞机使用环境谱的任务-环境分析法. 西安: 中国航空科技报告(飞行试验科技文献), FJB 9212, 1991.