

FEIJI JIEGOU FUSHI/LAOHUA KONGZHI
YU RILI YANSHOU JISHU

飞机结构腐蚀/老化控制 与日历延寿技术

刘文琰 贺小帆 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

V271.4
1063



NUAA2011038971

V271.4
1063-1

飞机结构腐蚀/老化 控制与日历延寿技术

刘文琰 贺小帆 等编著



国防工业出版社

· 北京 ·

2011038971

内 容 简 介

本书共 11 章,介绍了飞机结构腐蚀/老化控制与日历延寿技术。在阐明飞机结构腐蚀/老化控制的重要性和总体技术途径的基础上,以战斗机结构腐蚀/老化/控制准则与要求为指引,重点围绕飞机使用环境谱编制技术、战斗机结构的腐蚀(老化)失效模式、加速腐蚀试验技术以及铝合金结构涂层优选与改进进行了详细介绍;并针对结构透明件(有机玻璃)、钛合金焊接件和异金属连接件以及复合材料,有针对性的介绍了环境腐蚀/老化影响以及腐蚀/老化控制技术;并阐述了外场腐蚀防护与腐蚀损伤修理技术;最后对飞机结构日历延寿技术进行了比较详细的叙述。

本书具有很强的工程实用性,适合飞机设计和使用部门的工程技术人员阅读,对高等院校相关专业的师生也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

飞机结构腐蚀(老化)控制与日历延寿技术/刘文琰等
编著. —北京:国防工业出版社,2010. 11

ISBN 978-7-118-07044-6

I. ①飞... II. ①刘... III. ①歼击机—防腐
IV. ①V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 197914 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 19½ 字数 347 千字

2010 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

1710001198

《飞机结构腐蚀/老化控制
与日历延寿技术》
编审委员会

主 编 刘文琰

主 审 钟群鹏 李 明

副主编 贺小帆

编 委 (按姓氏笔画排列)

王逾涯 任三元 刘一鸣 刘小冬 刘文琰

李 野 李喜明 杨洪源 吴有金 张 蕾

张联营 陈群志 姜 军 姜爱红 贺小帆

章 俊 彭 欢 蒋军亮

前 言

战斗机在设计所要求的化学、热和气候环境中使用,包括在地面停放时的地面环境(舰载机还有舰上停放时的舰上环境)、飞行时的空中环境以及使用维护所引起的环境。在环境的作用下,金属材料结构会产生腐蚀,非金属材料会发生老化,从而产生结构的腐蚀/老化损伤。大量飞机的服役使用情况表明,在经历一定的服役年限后,结构腐蚀/老化损伤频繁出现,随着服役年限的增加,腐蚀/老化损伤呈现较快的发展趋势,即腐蚀部位增加,腐蚀程度加剧。结构腐蚀/老化损伤对飞机的使用安全、战备出勤率以及经济性均有重大危害。腐蚀/老化损伤及其与载荷的共同作用会影响结构的完整性,特别是影响结构的耐久性、损伤容限特性,降低结构的使用寿命、检查周期和剩余强度;腐蚀损伤严重的构件可能产生功能失效或由于不可修复而报废;为修复腐蚀损伤而必须进行的大修或外场的修理不仅增加了维修费用,而且会明显影响飞机的战备出勤率。

为尽可能减小腐蚀/老化对结构完整性的影响,必须在新机研制直至使用的全过程中实施结构腐蚀/老化控制,因此,不断发展和完善飞机结构腐蚀/老化控制技术就成为一项迫切需求的任务。为适应新机研制的需求和提高我国飞机腐蚀/老化控制技术水平,在“十五”飞机结构强度技术相关专题研究中对腐蚀/老化控制技术进行了较为全面深入的研究。在“十一五”飞机结构强度技术相关专题研究中有针对性地对腐蚀/老化对钛合金典型结构件、复合材料的影响以及飞机结构日历延寿技术进行了研究,取得了丰硕的研究成果。

在相关研究基础上,本书重点将专题研究的主要成果集成起来,较为详尽地加以阐述,力图在所涉及的技术方面能为新机研制和飞机结构日历延寿提供切实可用的先进技术成果。

本书共设 11 章,第 1 章绪论,阐述了飞机结构腐蚀/老化控制与日历延寿的重要性与总体技术途径;第 2 章战斗机结构腐蚀/老化控制准则与要求,包括总体要求、控制准则、控制程序及较为详细的具体要求;第 3 章重点阐述了作为腐

蚀/老化控制基础的飞机使用环境谱编制技术,给出了我国按地理区域划分的地面环境谱、典型机场环境分类和典型机场地面环境谱编制方法以及空中环境谱编制的工程方法;第4章介绍了战斗机金属结构、防腐涂层、透明件及复合材料结构的腐蚀/老化失效模式;第5章阐述了用于检验金属结构与涂层腐蚀/老化控制措施有效性的加速腐蚀试验技术;第6章详细阐述了在铝合金结构涂层优选与改进方面取得的具体研究成果以及在工程中的应用;第7章集中阐述了结构透明件(有机玻璃)的抗老化控制与评定技术;第8章针对常用的钛合金焊接结构和钛合金异金属连接件,给出了预腐蚀对寿命影响和抗腐蚀措施有效性的试验研究与分析结果;第9章阐述了复合材料老化效应、耐久性评定及控制技术;第10章则重点阐述了使用过程中的外场腐蚀防护与外场、大修的腐蚀损伤修理技术;第11章对飞机结构日历延寿技术进行了详细阐述。

本书的突出特点是具有很强的工程实用性,在相关领域具有国内领先的技术先进性。可为从事飞机(特别是战斗机)结构与强度工作的技术人员在新机研制、飞机改进改型设计中进行结构腐蚀/老化控制以及飞机结构服役后的日历延寿提供重要的技术支持。对相关专业的科技人员及院校师生也有重要的参考价值。

本书编写过程中,空军装备部综合计划部给予了大力支持与热心指导,主审钟群鹏、李明院士在百忙之中审查了书稿,提出了宝贵建议,国防工业出版社为本书的出版付出了艰辛的劳动,在此一并表示感谢。

飞机结构腐蚀/老化控制技术所包含内容范围甚广,各项相关技术仍在不断发展和完善,加之作者水平所限,本书的不足甚至谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者
2010年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 飞机结构腐蚀/老化控制与日历延寿的重要性	1
1.1.1 飞机结构的腐蚀与老化	1
1.1.2 腐蚀条件对飞机结构寿命/强度的影响	1
1.1.3 飞机结构腐蚀/老化控制的基本要求	3
1.1.4 结构腐蚀/老化控制的重要性	3
1.1.5 结构日历延寿的重要性	4
1.2 结构腐蚀/老化控制的总体技术途径	4
1.3 飞机结构日历延寿的技术途径	6
1.4 本书包括的主要内容	6
第2章 战斗机结构腐蚀/老化控制准则与要求	7
2.1 结构腐蚀/老化控制总体要求	7
2.2 结构腐蚀/老化控制准则	8
2.3 结构腐蚀/老化控制程序	8
2.3.1 确定腐蚀控制目标	8
2.3.2 制订腐蚀防护与控制计划	9
2.3.3 飞机研制各阶段腐蚀控制工作	9
2.4 结构腐蚀/老化控制要求	10
2.4.1 使用环境/环境谱	10
2.4.2 载荷/应力及载荷/应力/环境谱	10
2.4.3 材料选择	11
2.4.4 防护体系	13
2.4.5 防腐蚀密封	14
2.4.6 典型机械紧固连接件设计	15
2.4.7 异种金属连接件设计	16
2.4.8 电搭接细节设计	17

2.4.9	制造过程中的腐蚀控制	17
2.4.10	通风、排水、维修性设计	17
2.4.11	腐蚀试验	18
2.4.12	使用维护和腐蚀损伤检测与修理	18
	参考文献	19
第3章	飞机的使用环境谱	20
3.1	地面环境谱编制技术	20
3.1.1	概述	20
3.1.2	影响飞机的环境因素和环境特点	20
3.1.3	飞机结构环境谱的编谱原则	21
3.1.4	地面环境谱编制方法	22
3.2	按地理区域划分的地面环境谱	25
3.2.1	概述	25
3.2.2	按照地理区域划分我国飞机服役典型环境区	26
3.2.3	主要环境因素谱的建立	27
3.2.4	按地理区域划分的地面环境谱	33
3.3	典型机场的地面停放环境谱编制方法	36
3.3.1	机场环境区域划分及典型机场选取	36
3.3.2	环境要素的选取	37
3.3.3	典型机场腐蚀环境数据库系统	37
3.3.4	环境要素的简化与处理	38
3.3.5	地面环境谱的编制方法	39
3.4	载荷/环境谱的编制方法及工程简化	40
3.4.1	概述	40
3.4.2	载荷/环境分类	42
3.4.3	载荷/环境谱的编制方法与工程简化	43
	参考文献	46
第4章	战斗机结构腐蚀/老化失效模式	47
4.1	金属结构的典型腐蚀损伤形式及失效模式	47
4.2	防腐涂层的主要失效模式	52
4.2.1	防腐涂层的组分及作用	52
4.2.2	防腐涂层的失效判据	53

4.2.3	防腐涂层的失效模式	53
4.2.4	防腐漆层失效的原因	56
4.3	结构透明件的老化失效模式	56
4.3.1	概述	56
4.3.2	结构透明件的失效表现及原因	57
4.4	复合材料结构的老化失效模式	60
4.4.1	复合材料的老化机理	60
4.4.2	复合材料结构的老化失效模式	61
第5章	金属结构与涂层加速腐蚀试验	65
5.1	引言	65
5.1.1	加速试验环境谱与当量加速关系的意义与作用	65
5.1.2	加速试验环境谱编制原则与类别	66
5.1.3	当量加速关系的定义与确定方法综述	67
5.2	加速试验环境谱	69
5.2.1	疲劳关键部位加速试验环境谱	69
5.2.2	腐蚀失效关键部位加速试验环境谱	70
5.3	确定当量加速关系的几种方法	80
5.3.1	当量折算法	80
5.3.2	腐蚀程度对比法	85
5.3.3	疲劳强度(寿命)对比法	91
	参考文献	93
第6章	铝合金结构涂层优选与改进	94
6.1	引言	94
6.2	铝合金结构(蒙皮)底漆优选	96
6.2.1	底漆的特点及军用飞机所用底漆类型	96
6.2.2	底漆耐候性试验加速试验谱	97
6.2.3	底漆优选过程及结果	97
6.3	铝合金结构(蒙皮)面漆优选	100
6.3.1	面漆的作用与军用飞机所用面漆的类型	100
6.3.2	面漆耐候性加速试验加速试验环境谱	100
6.3.3	蒙皮面漆优选结果	101
6.4	涂层体系优选	103

6.4.1	铝合金结构涂层体系的构成	103
6.4.2	涂层体系优选	105
6.5	优选涂层的日历寿命评定与工程应用	108
6.5.1	军用飞机铝合金结构优选涂层体系日历寿命评定	108
6.5.2	优选涂层的工程应用	127
6.6	新型纳米涂层的应用研究	130
6.6.1	引言	130
6.6.2	新型纳米涂层的抗紫外线老化试验评定	131
6.6.3	新型纳米涂层在干、湿交替环境下抗腐蚀性能评定	135
6.6.4	新型纳米涂层在综合环境谱下的抗腐蚀性能评定	138
6.6.5	新型纳米涂层应用于典型飞机结构的抗腐蚀/老化性能 评定结论	143
	参考文献	144
第7章	结构透明件(有机玻璃)抗老化控制与评定	145
7.1	结构透明件(有机玻璃)抗老化品质评定与加速老化试验方法	145
7.1.1	概述	145
7.1.2	有机玻璃的老化环境	146
7.1.3	加速老化试验	152
7.1.4	结构透明件(有机玻璃)抗老化品质评定	155
7.2	典型透明件(有机玻璃)材料的加速老化试验与分析	155
7.2.1	加速老化试验环境谱的编制原则	155
7.2.2	加速老化试验环境谱	155
7.2.3	加速老化试验技术的要求	155
7.2.4	加速老化试验技术	156
7.2.5	有机玻璃力学性能测试	158
7.2.6	航空有机玻璃力学性能测试结果	161
7.2.7	有机玻璃断口形貌特征和断裂机理	167
7.2.8	延长座舱盖有机玻璃使用寿命的主要可能途径	169
	参考文献	170
第8章	环境腐蚀对钛合金典型结构件(焊接件和异金属连接件)的 影响研究	171
8.1	研究目的	171

8.2	技术途径	171
8.2.1	对钛合金焊接件	172
8.2.2	对钛合金异金属连接件	172
8.3	环境腐蚀对钛合金焊接件的影响研究	173
8.3.1	试验概述	173
8.3.2	试验结果	176
8.3.3	环境腐蚀对钛合金焊接件影响分析	180
8.3.4	结论	182
8.4	环境腐蚀对钛合金异金属连接件腐蚀损伤及寿命影响及防腐措施 有效性研究	183
8.4.1	试验概述	183
8.4.2	环境腐蚀对钛合金异金属连接件影响分析	191
8.4.3	防腐措施有效性分析	195
8.4.4	结论	196
8.5	综合分析	196
	参考文献	197
第9章	复合材料老化效应与控制	198
9.1	概述	198
9.2	我国典型环境区域	198
9.3	湿热老化效应	198
9.3.1	研究方法	199
9.3.2	湿热老化对复合材料物理性能的影响	199
9.3.3	湿热老化对复合材料层压板力学性能的影响	200
9.3.4	自然老化对复合材料性能的影响	203
9.3.5	加速老化对复合材料性能的影响	212
9.3.6	老化效应预估方法	216
9.4	加速湿热谱老化对复合材料性能的影响	219
9.4.1	波音加速老化谱	220
9.4.2	国内编制的一个加速湿热老化谱	221
9.4.3	国内编制的另一个加速湿热老化谱	223
9.4.4	自然老化、加速自然老化和湿热谱老化的关系及推荐建议	227

9.5	腐蚀老化	227
9.5.1	环境介质的腐蚀	227
9.5.2	紫外线辐射与防护	228
9.5.3	风化、砂蚀和雨蚀与防护	229
9.5.4	复合材料与金属的电偶腐蚀	230
9.6	老化对复合材料寿命影响的评定技术	230
9.6.1	加速试验方法	231
9.6.2	应变不变量失效理论	233
9.6.3	复合材料老化降质的影响	234
9.6.4	剩余强度	235
9.6.5	复合材料结构寿命预估	235
9.7	复合材料的老化防护与控制	237
9.7.1	湿热老化的防护与控制	237
9.7.2	电偶腐蚀的防护与控制	241
9.7.3	几种常用材料与碳纤维复合材料电偶腐蚀的防护	241
第10章	腐蚀防护与腐蚀损伤修理技术	243
10.1	引言	243
10.2	外场腐蚀防护技术	245
10.2.1	一般要求	245
10.2.2	重点防护部位	245
10.2.3	清除污物	245
10.2.4	保护防护涂层	246
10.2.5	涂注润滑脂	247
10.2.6	通风、排水	247
10.2.7	外场腐蚀损伤检查	248
10.3	外场腐蚀损伤修理技术	248
10.3.1	外场腐蚀修理检查部位	248
10.3.2	外场腐蚀损伤的检查方法	249
10.3.3	常见的外场腐蚀损伤特征	249
10.3.4	飞机结构腐蚀产物的去除	250
10.3.5	腐蚀损伤部位的打磨要求	251
10.3.6	腐蚀损伤去除后的处理	252

10.3.7	腐蚀损伤等级评定	252
10.3.8	外场飞机腐蚀损伤的修理	252
10.3.9	外场飞机腐蚀损伤修理信息的收集和管理	254
10.4	大修腐蚀损伤修理技术	254
10.4.1	腐蚀损伤修理准则和要求	254
10.4.2	大修飞机腐蚀修理大纲制订	255
10.4.3	大修腐蚀检查	256
10.4.4	腐蚀损伤分级及其修理方法	257
10.4.5	腐蚀损伤修理设计	259
10.4.6	大修腐蚀损伤修理	266
	参考文献	269
第 11 章	飞机结构日历延寿技术	270
11.1	概述	270
11.1.1	飞机的日历延寿	270
11.1.2	飞机结构的日历延寿	272
11.1.3	飞机结构日历延寿的前提条件	273
11.2	飞机结构日历延寿的技术途径	274
11.2.1	飞机结构日历延寿的原则	274
11.2.2	飞机结构日历延寿的步骤	275
11.3	早期服役飞机的日历延寿	277
11.3.1	早期服役飞机的特点	277
11.3.2	早期服役飞机日历延寿的技术途径	277
11.3.3	疲劳寿命能否达到日历延寿目标要求的分析	278
11.3.4	日历寿命能否达到日历延寿目标的分析	291
11.4	已有飞参记录装置的现役机种日历延寿	296
11.4.1	引言	296
11.4.2	关于疲劳剩余寿命的分析	297
11.4.3	关于单机监控飞机的疲劳分散系数	299
	参考文献	299

第1章 绪 论

1.1 飞机结构腐蚀/老化控制与日历延寿的重要性

1.1.1 飞机结构的腐蚀与老化

军用飞机在设计所要求的化学、热和气候环境中使用,包括停放环境(含地面停放时的地面环境和舰上停放时的舰上环境)、飞行时的空中环境以及使用维护所引起的环境。在环境的作用下,金属材料结构会产生腐蚀,非金属材料会发生老化,从而产生结构的腐蚀/老化损伤。大量飞机的服役使用情况表明,在经历一定的服役年限后,结构腐蚀/老化损伤频繁出现,随着服役年限的增加,腐蚀/老化损伤呈现较快的发展趋势,即腐蚀部位增加,腐蚀程度加剧。

结构腐蚀/老化损伤对飞机的使用安全、战备出勤率以及经济性均有重大危害。腐蚀/老化损伤会影响结构的完整性,特别是影响结构的耐久性、损伤容限特性。腐蚀与载荷的共同作用会加剧结构的疲劳损伤,降低结构的使用寿命、检查周期和剩余强度;腐蚀损伤严重的构件可能产生功能失效或由于不可修复而报废;为修复腐蚀损伤而必须进行的大修或外场的修理不仅增加了维修费用,而且会明显影响飞机的战备出勤率。

1.1.2 腐蚀条件对飞机结构寿命/强度的影响

由于腐蚀/老化导致飞机结构材料性能、局部尺寸等的变化,腐蚀/老化对结构静强度、动强度、耐久性、损伤容限性能等均存在影响,在本书中主要针对腐蚀/老化对飞机结构耐久性,尤其是使用寿命的影响。

飞机的使用寿命是飞机研制的重要性能指标,它包括以飞行小时数(或起落数)表示的疲劳寿命和用使用年限表示的日历寿命,它们均包括着首翻期、修理间隔和总寿命。而飞机结构的使用条件是飞机使用寿命的决定性因素与基础。决定飞机结构寿命的使用条件主要是载荷—时间历程(载荷谱)和环境—时间历程(环境谱)。环境—时间历程是产生腐蚀/老化损伤的主要原因,以下简称“腐蚀条件”。腐蚀条件不仅是决定结构日历寿命的根本因素,而且对飞机结构的疲劳寿命有重要影响,同时影响着飞机结构的寿命体系。

1.1.2.1 腐蚀条件对飞机结构疲劳寿命的影响

腐蚀条件对飞机结构的疲劳寿命有着不可低估的影响。总体来说,包括两个方面:一是飞机在停放时,由于停放地点(如机场)的自然环境等因素,导致各疲劳关键件及关键部位处于一定的局部腐蚀环境之中,随着地面停放年限的增加,腐蚀的作用使这些构件的疲劳品质不断下降,从而降低疲劳寿命;二是空中飞行时,由于空中环境与载荷的共同作用而使疲劳损伤加剧,也使疲劳寿命下降。对于军用飞机,特别是战斗机和运输机而言,停放腐蚀的影响居主导地位。值得注意的是,腐蚀条件对飞机结构疲劳寿命的影响不仅取决于环境的恶劣程度,还与飞机每年的飞行小时数(年飞行强度)密切相关。因此,对于一种型号飞机结构而言,其寿命体系中的疲劳寿命是和使用环境及年飞行强度有关的。作为疲劳寿命的设计指标,不仅应该明确其对应的使用环境(地域)限制,而且要明确对该机种的年平均飞行强度的要求。作为细化和完善的疲劳寿命指标,应当区分几种不同的典型使用地域的环境条件和几种不同的使用情况(年飞行强度),给出不同的首翻期、修理间隔与总寿命体系。

1.1.2.2 腐蚀条件对飞机结构日历寿命的影响

首先,腐蚀条件影响飞机结构的疲劳寿命,而疲劳关键件的日历寿命则与疲劳寿命及年飞行强度有关,因此,腐蚀条件会使疲劳关键件的日历寿命的修理间隔及总寿命相应地降低。

其次,对于腐蚀失效关键件,其日历寿命的修理间隔必须保证在关键件(部位)所处的环境下结构不会产生造成功能失效的腐蚀/老化,或者由于腐蚀/老化而造成结构无法实施有效的经济修理。因此腐蚀条件是决定这类关键件(部位)日历寿命的决定性因素。对军用飞机而言,停放时间(地面和舰上停放时间)要远大于空中飞行时间,后者通常不会超过总使用时间的10%,而空中环境通常要弱于停放环境,因此,这类关键件(部位)的日历寿命主要取决于停放腐蚀/老化。

因此,一种型号飞机结构日历总寿命指标的确定,应主要根据用户对该机种使用年限的需求,而日历修理次数(含首翻期及各次大修)应与疲劳寿命修理次数协调一致而加以安排。

1.1.2.3 腐蚀条件对飞机结构寿命体系的影响

由于腐蚀条件同时影响着飞机结构的疲劳寿命和日历寿命,因此疲劳寿命和日历寿命指标存在着一定的制约关系。在飞机寿命期内的使用地域、腐蚀条件和年飞行强度不发生显著变化的情况下,有些条件下其寿命体系以疲劳寿命为主,即飞机结构的首翻、大修及总寿命主要由飞行小时数控制;而另一些条件下,则以日历寿命为主,即飞机结构的首翻、大修及总寿命由使用年限控制。而

决定上述不同情况的主要因素就是腐蚀条件和年飞行强度。从而必须弄清腐蚀条件与年飞行强度对飞机结构疲劳寿命指标体系的影响,分别给出疲劳寿命与日历寿命的首翻期、因修理间隔与总寿命指标,以及在给定的腐蚀环境下,在怎样的年飞行强度范围内,寿命体系以疲劳寿命,还是以日历寿命作为主要控制指标,或是二者必须综合判断。这种完善的寿命指标体系将使用户能更为主动合理地对飞机结构的大修和使用寿命进行有效的控制。

1.1.3 飞机结构腐蚀/老化控制的基本要求

飞机结构腐蚀/老化控制要求作为结构完整性特别是耐久性要求的重要组成部分,在有关飞机结构的我国国家军用标准及美国军用规范(标准)中均有明确的阐述和规定。这些标准(规范)包括 GJB775.1—89《军用飞机结构完整性大纲 飞机要求》、GJB776—89《军用飞机损伤容限要求》、GJB2635—96《军用飞机腐蚀防护设计和控制要求 飞机结构》、MIL-A-87221、MIL-HDBK-1530B、MIL-STD-1530C(USAF)、JSSG-2006,《美国国防部联合使用规范指南》等以及我国最新国军标(GJB67.6A—2008)《飞机结构强度规范 重复载荷、耐久性与损伤容限》。综观上述标准(规范)中关于飞机结构腐蚀/老化控制要求的条文,飞机结构腐蚀/老化控制的基本要求可归纳为如下几点。

(1) 在使用和维护期间,机体的耐久性能力应足以抵抗疲劳开裂、腐蚀、热退化、脱层和磨损,使其不降低机体使用和维护能力,并对使用寿命、使用方法不造成有害的影响。

(2) 在规定的使用环境中工作,在指定的使用寿命和服役年限内,结构不应出现影响机体状态的腐蚀。

(3) 腐蚀防护体系对难以检查、修理、更换或过分增加用户经济负担的结构应在整个使用寿命期内有效,而对其他结构应在修理间隔期内有效。这里“有效”应指不因腐蚀防护体系失效而使结构产生不可经济修复的腐蚀损伤。

1.1.4 结构腐蚀/老化控制的重要性

为尽可能地避免或控制飞机结构的腐蚀/老化损伤,降低腐蚀/老化对结构使用寿命的影响,以保证飞机结构在规定的使用寿命(包含疲劳寿命与日历寿命——使用年限)中满足结构腐蚀/老化控制要求,必须全面、系统地采用行之有效的结构腐蚀/老化控制技术,在结构设计、使用和维护全过程中实施飞机结构的腐蚀/老化控制。这对飞机结构在使用寿命期内确保使用安全,提高战备出勤率和降低维修费用具有十分重要的意义。

1.1.5 结构日历延寿的重要性

如 1.1.2 节所述,飞机结构的使用寿命包括疲劳寿命和日历寿命,两者均包含首翻期、修理间隔和总寿命,并以“先达为准”的原则决定飞机结构的寿命,即飞机结构的寿命只要达到其中一个指标,则寿命终止。按这种方式进行寿命管理的飞机结构,若年飞行强度低,则会出现飞机使用年限达到预定日历寿命指标,而疲劳寿命远未达到预定疲劳寿命指标的情况,飞机结构存在很大的寿命裕度;即使飞机寿命达到预定疲劳寿命指标,由于定寿时飞机结构特性尚未完全挖掘,随着分析手段和分析精度的不断提高,以及先进寿命管理思想的贯彻,飞机结构的日历寿命还可进一步延长。

为了保障国防战备,在役飞机的数量必须达到一定规模。而先进飞机的研制和采购费用越来越昂贵,在有限的国防预算下,全面更新/替换在役飞机是不现实的。从而在飞机结构的战技术性能满足基本需要的前提下,考虑腐蚀/老化影响采取“日历延寿”措施延长飞机结构的使用寿命,它对提高飞机结构的经济性,降低飞机结构的寿命周期费用具有重要作用。

以美国为代表的航空发达国家指出,飞机结构在服役后要采取单机跟踪、单机监控和单机延寿,可见延寿在飞机结构完整性中的重要地位。目前,各航空大国均十分关注飞机结构的日历延寿问题,以美国空军(USAF)为例,提出了现役主力机种继续服役至 2020 年、部分机种甚至延寿至 2060 年的目标,大大地提高了飞机结构的经济性;与国外同类型的飞机结构相比,我国现役飞机结构外场出现的腐蚀/老化损伤也日益明显,为了保障国防战备,提高飞机结构的经济性,飞机结构的“日历延寿”势在必行。

1.2 结构腐蚀/老化控制的总体技术途径

结构腐蚀/老化控制贯穿飞机结构设计、验证、使用、维修全过程,其总体技术途径大致包括如下几部分。

(1) 在飞机结构设计中,采用先进的抗腐蚀/老化与防腐蚀/老化设计措施,提高结构的抗腐蚀/老化与防腐蚀能力,避免或降低环境对结构失效的影响。

① 根据结构形式与特点进行抗腐蚀设计,尽可能地减少腐蚀源,改善局部环境,提高结构的抗腐蚀/老化能力。

② 针对结构的材料类型和所处环境因素,选取有效的防护体系。

(2) 编制飞机使用环境谱、关键部位局部环境谱及其加速试验环境谱,确定当量加速关系。