



《国家科学技术学术著作出版基金资助出版》

飞机结构载荷/环境谱

蒋祖国 田丁栓 周占廷 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

V215.5

3

D00903513

学术著作出版基金

工业科技与教育专著出版资金

资助出版

飞机结构载荷/环境谱

蒋祖国 田丁栓 周占廷 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是专门论述飞机结构载荷/环境谱的一部专著,全面系统地阐述了与飞机载荷/环境谱密切相关的内容及飞机结构各种载荷/环境谱编制的全过程。全书共分 15 章,主要内容包括:飞机载荷/环境谱基本知识、历史发展、标准和规范要求;飞机结构设计和结构完整性;飞机结构使用寿命;飞机使用方法;飞机疲劳载荷/环境;疲劳载荷统计分析基础;飞机载荷谱编制基本方法——任务分析法;飞机设计使用载荷谱编制方法;飞机实测载荷谱编制方法;飞机飞行载荷谱实测和编制;飞机操纵系统载荷谱实测和编制;飞机地面载荷谱实测和编制;飞机环境谱和载荷-环境谱编制;飞机疲劳载荷参数识别技术;飞机疲劳载荷可靠性分析。

本书主要供从事飞机结构设计、分析、试验和使用的工程技术人员及飞机结构寿命研究的科研人员使用,特别适合从事飞机结构载荷-环境谱研究、实测和编制的科研和工程技术人员学习使用。对从事其他机械装备结构设计、分析、试验、使用的工程技术人员和理工科院校相关专业的师生也有参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

飞机结构载荷/环境谱 / 蒋祖国, 田丁栓, 周占廷著. —北京: 电子工业出版社, 2012. 4
ISBN 978-7-121-16711-9

I. ①飞… II. ①蒋… ②田… ③周… III. ①飞机—结构载荷—载荷谱 IV. ①V215.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 060115 号

责任编辑: 徐 静

特约编辑: 刘海霞 王 燕

印 刷:

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 26 字数: 666 千字

印 次: 2012 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 89.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

飞机结构的载荷/环境谱是飞机结构定寿和延寿的主要依据,是飞机结构疲劳/耐久性/损伤容限设计中的重要工作。编制能真实反映飞机使用情况的载荷/环境谱,对保证飞行安全和飞机使用的经济性具有十分重要的意义。《飞机结构载荷/环境谱》一书是国内首部在总结我国实践经验的基础上编撰的专门论述飞机结构载荷/环境谱的专著。该书详细叙述了飞机载荷/环境谱研究和编制的历史演变、现状和发展趋势,全面介绍了载荷/环境谱的基本原理,系统阐述了飞机结构载荷/环境谱编制的依据、理论基础和方法,内容全面,技术先进,实用性强,既是一本技术专著,又是一部工程技术指南,具有很高的学术价值和工程应用价值。该书的编写是从基础知识入手,逐步深入到工程实践,最后还对该学科的进一步发展作了展望,易为读者接受。该书的出版发行对飞机结构寿命和可靠性研究、飞机结构设计、飞机定寿延寿,尤其对载荷/环境谱编制人员将提供一个有力的工具。

该书作者都是来自飞机载荷和强度科研试飞一线的技术专家。该书主笔长期从事飞机载荷/环境谱、飞机结构疲劳、腐蚀疲劳、飞机结构完整性试飞和强度规范研究工作。从20世纪70年代初开始至今,这个团队已完成了多种飞机的载荷谱实测和编制,体现了有很好的理论基础和丰富的实践经验。现在将其成果以专著的形式出版,对国内飞机载荷/环境谱编制、结构定寿延寿是一个贡献,对从事这项工作的同志是一笔宝贵财富。我很高兴看到这本书的出版发行。

中国科学院院士
中国工程院院士

张涌芳

2012年4月

前言

飞机结构载荷/环境谱既是进行飞机结构疲劳/耐久性/损伤容限设计、分析、试验和评定的基础和输入,又是确定飞机结构使用寿命和飞机延寿的主要依据。载荷/环境谱编制贯穿于飞机结构设计、研制、定型和使用的全寿命过程,对飞机型号定寿和延寿起着非常重要的作用。

新中国成立以来,我国的航空工业走过了一条从仿制到自行设计的道路。20世纪80年代以前,国内服役的飞机,军用飞机大部分都是仿制的,小部分是外购的,还有一部分是国外飞机的改型设计;民用飞机则全是外购的。无论是哪种类型的飞机,当时大部分都是20世纪50年代至60年代按静强度准则设计的,没有使用寿命指标;即使少部分按安全寿命准则设计的国外进口飞机,也只有一个总的使用寿命指标,没有具体的相关资料,而这些当时服役的飞机,有的已出现各种问题,如局部裂纹、部分构件功能失效等;有的已飞行几千飞行小时,人们对这些飞机能够飞行多长时间一片茫然,即使少数有使用寿命指标的服役飞机,由于缺少相关资料,对于何时检修,如何检修,是否可延寿等心中无数。诸如此类问题,归结到一点就是亟待解决这些服役飞机的定寿延寿问题。

20世纪50年代末期,我国着手开始自行设计飞机,刚开始仍然是按静强度设计准则来设计的(如强5、歼8等)。到了70年代开始考虑疲劳强度,增加了安全寿命设计准则(如歼轰7等)。即使一开始按静强度设计的飞机,到后来也进行了疲劳补课。因此,我国自行设计的飞机都存在一个飞机定寿问题。

无论是我国当时仿制的飞机,还是自行设计的飞机,都要确定飞机结构的使用寿命。要定寿,首先就要解决载荷谱问题。载荷谱如何实测?要编制什么样的载荷谱?如何编制实测载荷谱和设计使用载荷谱?如何用载荷谱进行疲劳/耐久性/损伤容限试验和分析?这些问题都亟待解决。

为了解决上述问题,20世纪60年代,中国飞行试验研究院(简称试飞院)和空军航空装备研究所(原空一所)在国内率先开展了飞机载荷谱飞行试验实测和编制技术研究。从70年代开始,在航空工业部门和使用部门的共同领导和组织下,我国各种服役飞机陆续开展了载荷谱实测和编制工作,各设计单位也着手开展了自行设计飞机的设计使用载荷谱编制工作。到目前为止,几乎所有服役过的和现役的飞机及新设计的飞机都开展过载荷谱实测和编谱工作,其中,我国飞机设计使用载荷谱的编制基本上始于20世纪70年代中后期,比飞机实测载荷谱的编制稍晚一些。40多年来,国内各有关机种用所编制的使用载荷谱(包括实测载荷谱和设计使用载荷谱)去进行疲劳(耐久性)/损伤容限试验和分析,解决了这些服役飞机的定寿延寿问题。

为了满足当时我国飞机自行设计和研制的要求,也为了配合当时众多服役飞机型号定寿延寿工作,20世纪70年代末到21世纪初的20多年期间,在当时航空工业主管部门的领导、组织和协调下,由试飞院牵头,集中当时国内飞机强度专家和工程技术人员,开展了飞机强度规范研究工作,项目名称简称为“ASST系统工程”。涉及飞机结构静、动、疲、热四大载荷和强度专业,飞机载荷/环境谱专题研究是其中一项重要研究内容。

飞机载荷/环境谱专题研究大部分课题都是结合当时的型号飞机定寿延寿开展的,取得了大量研究成果,这些研究成果既解决了当时国内众多飞机载荷谱实测、编制和飞机定寿延寿中的重大技术问题,又为飞机强度规范的制定和规范的执行提供了依据。

本书是在 40 多年来国内飞机结构寿命和载荷/环境谱预研及型号应用成果的基础上,以国军标《军用飞机结构完整性大纲》和《军用飞机结构强度规范》等为依据,吸收国内外相关先进技术,加以归纳、总结和提高撰写而成。本书在全面叙述飞机结构载荷/环境谱有关内容的基础上,主要阐述飞机结构载荷/环境谱编制方面的内容,而重点放在飞机结构使用载荷谱的编制方面。

本书共分 15 章,第 1 章~第 6 章主要叙述飞机结构载荷/环境谱的基本概念、基础知识、基本原理及与飞机载荷/环境谱密切相关的问题,包括飞机结构设计、结构完整性、结构使用寿命、飞机使用方法、飞机疲劳载荷/环境和疲劳载荷统计分析基础等。这些内容是飞机载荷/环境谱研究、实测和编制的基础和依据。第 7 章主要阐述飞机载荷谱编制的基本方法和实施步骤,这些内容是飞机载荷谱编制的共性问题。第 8 章~第 13 章主要阐述飞机设计使用载荷谱编制方法、飞机实测载荷谱编制方法、飞机各主要部件载荷谱实测和编制有关内容及飞机环境谱和载荷—环境谱编制方法,这些内容涉及飞机各种不同载荷谱及环境谱编制的个性问题。第 14 章~第 15 章主要是前面各章有关疲劳载荷内容的进一步深化、扩展、总结和提高,其中有的内容具有一定的探索性。

在上述 15 章中,无论是与飞机载荷/环境谱密切相关的内容,还是飞机载荷/环境谱本身的内容,甚至是飞机载荷/环境谱编制方面的内容,都侧重于尽可能准确叙述有关领域和内容的基本概念、基本原理和基本方法,并力求找出这些领域和内容之间的内在联系和本身的规律性东西。至于各项技术内容和工作项目的具体做法、实施步骤和相关的技术细节,本书主要是给出基本思路和要点,详细内容读者可查阅有关的技术指南、手册、专题研究报告、技术报告、作业文件和程序文件等技术资料。

本书主要供从事飞机结构设计、分析、试验和使用的工程技术人员及飞机结构寿命研究的科研人员使用,特别适用于飞机结构载荷/环境谱研究、实测和编制的科研和工程技术人员。对从事其他机械装备结构设计、分析、试验、使用的工程技术人员和航空及其他理工科院校相关专业师生也有参考价值。

本书由蒋祖国主笔,第 1 章~第 4 章、第 7 章~第 9 章、第 13 章、第 15 章由蒋祖国撰写,第 5 章、第 6 章由蒋祖国、田丁栓、周占廷共同撰写,第 10 章、第 11 章由田丁栓撰写,第 12 章、第 14 章由周占廷撰写,最后由蒋祖国统编定稿。

本书是国家科学技术学术著作出版基金资助项目(项目编号:2010-E-072),国家科学技术学术著作出版基金委员会、电子工业出版社和作者所在的中国飞行试验研究院给予了大力支持和帮助。在本书撰写过程中得到了有关领导和国内同行的大力支持和帮助,我国著名飞机设计专家、中国科学院和中国工程院顾诵芬院士在百忙之中审阅了本书相关内容并亲笔作序;北京航空航天大学刘文斑教授、中国飞行试验研究院周自全研究员审读了本书内容,提出了宝贵意见;李俊、汤阿妮、杨建忠、赵华、原正庭、舒成辉等为本书提供了部分素材;来宁等自始至终进行了稿件打印和修改;电子工业出版社为本书的出版付出了艰辛的劳动,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平和经历所限,时间仓促,书中难免有错误和不当之处,敬请各位专家和工程技术人员提出宝贵意见。

作 者
2012 年 4 月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 飞机载荷和载荷谱基本知识	(2)
1.2.1 飞机载荷	(2)
1.2.2 飞机载荷谱	(4)
1.3 飞机环境和环境谱基本知识	(7)
1.3.1 飞机环境	(7)
1.3.2 飞机环境谱	(7)
1.4 飞机载荷/环境谱的重要性	(10)
1.5 飞机载荷/环境谱的历史发展	(10)
1.5.1 国外发展概况	(11)
1.5.2 迅速发展的原因	(12)
1.5.3 国内发展概况	(13)
1.6 飞机结构规范和标准对载荷/环境谱的要求	(19)
1.6.1 军用飞机结构完整性大纲要求	(19)
1.6.2 军用飞机结构强度规范要求	(19)
1.6.3 民用飞机适航标准要求	(20)
参考文献	(21)
第2章 飞机结构设计和结构完整性	(23)
2.1 引言	(23)
2.2 飞机结构设计	(23)
2.2.1 飞机结构设计内涵	(23)
2.2.2 飞机结构设计要求	(24)
2.2.3 飞机设计目标	(24)
2.2.4 飞机结构设计原理	(27)
2.2.5 飞机结构抗腐蚀疲劳设计	(32)
2.2.6 飞机结构设计与载荷/环境谱	(37)
2.3 飞机结构完整性	(37)
2.3.1 飞机结构完整性含义	(37)
2.3.2 飞机结构完整性大纲	(38)
2.3.3 飞机结构完整性和结构可靠性	(43)
2.3.4 飞机结构完整性和飞机适航性	(44)
2.3.5 飞机结构完整性和飞机载荷/环境谱	(44)
参考文献	(45)

第3章 飞机结构使用寿命	(47)
3.1 引言	(47)
3.2 飞机使用寿命分类	(47)
3.3 飞机使用寿命和载荷/环境谱	(50)
3.4 飞机使用寿命确定方法	(52)
3.4.1 分析方法	(53)
3.4.2 试验方法	(54)
3.5 谱载下的疲劳寿命估算	(54)
3.5.1 名义应力法	(54)
3.5.2 局部应力-应变法	(56)
3.6 谱载下的腐蚀疲劳寿命估算	(57)
3.7 基于谱载的飞机结构日历寿命估算	(58)
3.7.1 飞机结构日历寿命含义	(58)
3.7.2 飞机结构日历寿命计算模型	(58)
3.7.3 飞机结构日历寿命影响因素分析	(60)
3.7.4 实例	(63)
参考文献	(64)
第4章 飞机使用方法	(66)
4.1 引言	(66)
4.2 飞机使用方法和任务剖面	(66)
4.2.1 使用方法和任务剖面的引入	(66)
4.2.2 任务剖面含义	(67)
4.2.3 任务剖面表示法	(67)
4.3 飞机任务剖面主要内容和参数	(69)
4.3.1 任务剖面主要内容	(69)
4.3.2 任务剖面主要参数	(70)
4.4 任务剖面的确定方法	(73)
4.4.1 设计使用载荷谱用典型任务剖面的确定方法	(73)
4.4.2 实测载荷谱用典型任务剖面的确定方法	(74)
参考文献	(76)
第5章 飞机疲劳载荷/环境	(77)
5.1 引言	(77)
5.2 机动载荷	(77)
5.2.1 机动飞行分类	(77)
5.2.2 机动载荷形态特征	(78)
5.2.3 机动载荷计算基本方法	(79)
5.2.4 机动载荷谱	(87)
5.3 阵风载荷	(88)
5.3.1 离散阵风	(88)

5.3.2	连续紊流	(93)
5.3.3	飞机结构设计阵风载荷要求	(95)
5.4	地面载荷	(96)
5.5	地—空—地循环	(98)
5.6	动载荷	(98)
5.6.1	动载荷、静载荷和疲劳载荷三者关系	(98)
5.6.2	动载荷受载情况	(99)
5.6.3	飞机振动环境	(100)
5.6.4	航空声环境	(102)
5.6.5	振动/航空声疲劳	(103)
5.6.6	振动/航空声预计、测量和编谱	(104)
5.7	腐蚀环境	(106)
5.7.1	腐蚀环境种类	(106)
5.7.2	腐蚀环境特点	(108)
5.7.3	环境参数的表示法	(109)
5.7.4	环境参数获取方法	(110)
5.8	载荷和腐蚀环境联合作用	(111)
5.8.1	应力腐蚀	(111)
5.8.2	腐蚀疲劳	(111)
	参考文献	(114)
第6章	疲劳载荷统计分析基础	(115)
6.1	引言	(115)
6.2	计数法	(115)
6.2.1	计数法分类	(115)
6.2.2	计数法选择	(116)
6.2.3	增量峰值计数法	(116)
6.2.4	双参数循环计数法	(116)
6.3	随机数据频谱分析	(120)
6.3.1	随机数据的特性	(120)
6.3.2	结构的响应特性	(127)
6.4	马尔可夫矩阵	(129)
6.4.1	马尔可夫过程与马尔可夫链	(129)
6.4.2	马尔可夫转移概率矩阵	(130)
6.4.3	随机数据测量结果的马尔可夫矩阵表示	(132)
6.5	疲劳载荷的概率分布	(133)
6.5.1	一维疲劳载荷概率分布函数	(134)
6.5.2	二维疲劳载荷概率分布函数	(139)
6.6	核密度估计	(140)
6.7	最小子样容量	(141)

6.7.1 确定小子样容量的理论基础和方法	(142)
6.7.2 飞机实测载荷谱子样容量的初步考虑	(150)
参考文献	(151)
第7章 飞机载荷谱编制的基本方法——任务分析法	(153)
7.1 引言	(153)
7.2 获取编谱原始数据	(155)
7.3 确定典型任务剖面	(156)
7.4 确定结构载荷环境	(156)
7.5 确定载荷情况	(157)
7.6 载荷计算和应力分析	(158)
7.7 编制无顺序载荷谱	(159)
7.8 无顺序载荷谱离散化	(160)
7.9 编制试验谱和分析谱	(161)
参考文献	(162)
第8章 飞机设计使用载荷谱编制方法	(163)
8.1 引言	(163)
8.2 编制设计使用载荷谱的规范谱分析法	(163)
8.2.1 任务段型设计规范谱分析法	(165)
8.2.2 任务型设计规范谱分析法	(168)
8.3 编制设计使用载荷谱的类比分析法	(170)
8.4 编制设计使用载荷谱的飞行模拟法	(174)
8.5 编制设计使用载荷谱的综合分析法	(176)
8.6 飞—续—飞载荷谱及其编制方法	(176)
8.6.1 飞—续—飞载荷谱分类	(176)
8.6.2 飞—续—飞载荷谱编制方法	(177)
8.7 飞机耐久性设计和损伤容限设计使用载荷谱	(181)
8.7.1 耐久性设计使用载荷谱	(181)
8.7.2 损伤容限设计使用载荷谱	(181)
8.8 实例	(182)
8.8.1 编谱实施要点	(182)
8.8.2 确定 A 型飞机编谱用典型任务剖面	(183)
8.8.3 编制类似飞机实测组合载荷谱	(183)
8.8.4 编制设计规范谱	(185)
8.8.5 曲线拟合	(186)
8.8.6 高载外推	(186)
8.8.7 编制各种设计谱	(187)
8.8.8 飞—续—飞载荷谱编制	(190)
参考文献	(195)
第9章 飞机实测载荷谱编制方法	(196)

9.1	引言	(196)
9.2	实测结果的数据处理	(196)
9.2.1	数据预处理	(197)
9.2.2	参数换算和载荷计算	(197)
9.2.3	参数峰谷值有效采集和滤波	(199)
9.2.4	计数处理	(203)
9.3	传统均值载荷谱编制方法	(203)
9.3.1	任务段型传统均值载荷谱的编制	(203)
9.3.2	任务型传统均值载荷谱的编制	(206)
9.3.3	疲劳载荷情况的确定	(208)
9.4	代表起落随机载荷谱编制方法	(217)
9.4.1	方法概述	(217)
9.4.2	实施步骤	(218)
9.4.3	两类实测载荷谱编制方法之间的关系	(231)
9.5	飞机不同阶段实测载荷谱的编制	(232)
9.5.1	飞机定型试飞阶段实测载荷谱的编制	(232)
9.5.2	专门飞行试验实测载荷谱的编制	(237)
9.5.3	飞机寿命监控期间使用载荷谱的编制	(238)
	参考文献	(240)
第 10 章	飞机飞行载荷谱实测和编制	(242)
10.1	引言	(242)
10.2	飞行中机体结构受载分析	(242)
10.2.1	飞行限制	(242)
10.2.2	飞行载荷和过载	(243)
10.2.3	机翼飞行载荷分析	(244)
10.2.4	机翼结构与载荷传递方式	(247)
10.2.5	机身载荷和结构受力分析	(249)
10.3	确定实测典型任务剖面	(250)
10.4	确定实测参数和需记录的信息	(251)
10.4.1	确定飞行现场需记录的信息	(251)
10.4.2	确定实测参数	(252)
10.5	试验飞机改装	(254)
10.5.1	飞机测试改装的原则	(255)
10.5.2	电阻应变计特性与粘贴工艺	(255)
10.5.3	飞行载荷测量应变计电桥改装	(259)
10.5.4	飞行参数及其他传感器的改装	(260)
10.5.5	参数采集记录设备改装	(260)
10.6	载荷校准试验	(260)
10.6.1	校准试验加载点位置及校准载荷	(260)

10.6.2	校准过程中试验飞机的约束	(261)
10.6.3	校准载荷施加	(262)
10.6.4	校准试验数据记录	(262)
10.6.5	校准试验数据处理	(262)
10.6.6	建立载荷方程	(264)
10.6.7	载荷方程的精度	(266)
10.6.8	后续载荷校准试验	(267)
10.7	飞行试验	(267)
10.8	重心法向过载谱编制	(268)
10.9	载荷情况统计	(272)
10.10	全机载荷谱编制	(273)
10.11	部件载荷谱编制	(276)
	参考文献	(288)
第 11 章	飞机操纵系统载荷谱实测和编制	(289)
11.1	引言	(289)
11.2	飞机操纵系统简介	(290)
11.3	操纵系统载荷谱飞行测量	(292)
11.4	操纵系统实测载荷谱编制方法	(294)
11.5	平尾操纵系统载荷谱编制示例	(296)
11.6	其他方向操纵系统载荷谱编制	(299)
	参考文献	(299)
第 12 章	飞机地面载荷谱实测和编制	(300)
12.1	引言	(300)
12.2	起落架组成及分类	(301)
12.3	地面重复载荷源	(302)
12.4	地面载荷及其定义	(303)
12.5	测试与改装	(303)
12.5.1	参数表	(303)
12.5.2	应变计布置	(304)
12.5.3	下沉速度	(307)
12.5.4	跑道不平度	(308)
12.6	载荷校准	(308)
12.6.1	加载表	(309)
12.6.2	校准系统	(309)
12.6.3	直接校准	(310)
12.6.4	间接校准	(311)
12.6.5	参数法校准	(311)
12.6.6	台架校准	(312)
12.6.7	连机校准	(313)

12.7 编谱数据处理	(314)
12.7.1 数据预处理	(315)
12.7.2 受载情况识别	(315)
12.7.3 计数处理	(315)
12.7.4 等寿命和等损伤折算	(316)
12.8 实测地面载荷谱	(317)
12.8.1 着陆载荷谱	(317)
12.8.2 滑行载荷谱	(318)
12.8.3 刹车载荷谱	(319)
12.8.4 转弯载荷谱	(319)
12.8.5 起飞线发动机地面试车载荷谱	(320)
12.8.6 发动机地面试车载荷谱	(321)
12.8.7 牵引载荷谱	(321)
12.8.8 下沉速度谱	(321)
参考文献	(322)
第13章 飞机环境谱和载荷-环境谱编制	(324)
13.1 引言	(324)
13.2 编制飞机环境谱的基本方法	(324)
13.3 飞机使用环境谱编制	(325)
13.3.1 确定飞机使用环境种类	(325)
13.3.2 确定飞机典型的使用情况	(325)
13.3.3 获取环境数据	(326)
13.3.4 编制各种使用环境谱	(326)
13.4 飞机当量环境谱的编制	(331)
13.4.1 当量环境谱编制原则	(331)
13.4.2 当量环境飞行谱编制	(331)
13.4.3 当量环境停放谱编制	(332)
13.5 飞机载荷—环境谱编制	(333)
13.5.1 飞机载荷—环境谱概念	(333)
13.5.2 载荷—环境谱分类	(334)
13.5.3 载荷—环境谱编制方法	(334)
13.6 实例	(335)
13.6.1 飞机使用环境谱	(335)
13.6.2 飞机当量环境谱	(342)
13.6.3 飞机试验载荷—环境谱	(343)
13.7 地面停放谱的当量关系确定方法	(344)
13.7.1 当量折算法	(345)
13.7.2 腐蚀程度对比法	(348)
13.7.3 疲劳强度(寿命)对比法	(354)

参考文献	(355)
第 14 章 飞机疲劳载荷参数识别技术	(357)
14.1 引言	(357)
14.2 载荷识别概述	(358)
14.3 静载荷识别	(359)
14.3.1 基于函数模型的载荷参数识别	(360)
14.3.2 基于微分模型的载荷参数识别	(361)
14.3.3 基于神经网络模型的载荷参数识别	(363)
14.4 动载荷识别	(365)
14.4.1 动载荷识别频域法	(366)
14.4.2 动载荷识别时域法	(368)
参考文献	(368)
第 15 章 飞机疲劳载荷的可靠性分析	(370)
15.1 引言	(370)
15.2 结构载荷可靠性分析基础	(370)
15.3 疲劳载荷可靠性分析内涵	(372)
15.3.1 疲劳载荷可靠性分析含义	(372)
15.3.2 疲劳载荷统计分析特点	(373)
15.3.3 疲劳载荷可靠性分析的主要内容	(374)
15.4 疲劳载荷-疲劳强度可靠性干涉模型	(374)
15.5 实测载荷谱的子样容量	(376)
15.5.1 小子样容量理论在飞机实测载荷谱中的应用分析	(376)
15.5.2 飞机实测载荷谱子样容量的确定方法	(377)
15.6 实测载荷谱的统计真实性	(379)
15.6.1 实测任务剖面	(379)
15.6.2 地面试验	(380)
15.6.3 飞行试验	(380)
15.6.4 数据预处理和二次处理	(381)
15.6.5 编谱飞行起落数据的选取	(381)
15.6.6 计数处理	(383)
15.6.7 编谱方法	(388)
15.6.8 疲劳载荷情况	(393)
15.7 载荷谱的统计分散性	(393)
15.7.1 载荷谱的分布曲线族	(393)
15.7.2 疲劳载荷分布函数曲线	(394)
15.8 载荷谱的高载外推	(394)
15.8.1 高载外推方法	(394)
15.8.2 高载外推的实施	(395)
15.9 载荷谱与疲劳损伤	(395)

15.9.1 载荷谱与疲劳损伤的关系	(395)
15.9.2 谱载下的损伤考虑	(396)
15.10 载荷谱与疲劳分散系数	(397)
15.10.1 疲劳分散系数与结构可靠性	(397)
15.10.2 载荷谱与疲劳分散系数关系	(398)
15.10.3 疲劳分散系数取值	(399)
参考文献	(400)

第1章 绪 论

1.1 引言

飞机结构是指飞机运动中,用于承受和传递载荷且具有刚度和力学稳定性的金属或非金属材料、构件、元件或零件的总称,包括机身、机翼、尾翼、起落架、操纵系统的机械/结构元件、操纵面、雷达罩、发动机架、短舱、进气道构件、结构操作机构等。

飞机结构载荷/环境谱是指作用在飞机结构上各种疲劳载荷和飞机历经的各种使用环境(特别是腐蚀环境)所形成的谱的总称。从谱的组成来看,飞机结构载荷/环境谱包括以下三种类型的谱:

- (1) 飞机结构载荷谱;
- (2) 飞机结构环境谱;
- (3) 飞机结构载荷-环境谱。

飞机疲劳载荷和使用环境是影响飞机结构使用寿命的两大主要因素,而且是性质不同的两大因素。疲劳载荷是以力学为其主要特征,使用环境则比较复杂,它既包括某些化学/热/气候等自然因素的环境,也包括某些化学/力学/热等诱发因素的环境。尽管两者如此不同,但两者又相互渗透,载荷中有环境,环境中也有载荷。换句话说,从载荷来源看,疲劳载荷既包括结构操作引起的载荷(如机动载荷),又包括结构环境引起的载荷(如阵风载荷);同样,从使用环境性质来说,环境既包括腐蚀环境(如各种化学环境和气候环境),又包括载荷环境(如大气紊流环境、振动环境)。正因为疲劳载荷和使用环境对飞机结构使用寿命影响的重要性的和两者之间的相互渗透性,可把飞机结构载荷/环境谱作为对飞机结构使用寿命影响的整体属性来看待。

载荷和环境的这种相互渗透性使载荷/环境谱变得非常复杂,这样既不便于载荷/环境谱本身的研究、实测和编制,也不便于飞机结构使用寿命的分析、试验和确定,因此,有必要按两者的不同性质和学科进行适当调整和分类。前面提及的使用环境中的载荷环境属力学性质,与疲劳载荷中环境引起的载荷同属一类,因此,可把使用环境中的载荷环境放到疲劳载荷中,这样环境谱就主要是指由腐蚀环境所形成的谱。因此,如果不特别说明,本书中的飞机结构环境谱主要是指腐蚀环境谱。

疲劳载荷和腐蚀环境对飞机结构使用寿命的影响都非常重要,但两者在对飞机结构使用寿命影响的侧重面不一样。飞机结构使用寿命主要有三大寿命指标:飞行小时、飞行次数和日历寿命(使用年限)。相对来说,疲劳载荷对飞行小时寿命(或飞行次数)影响更大一些,对日历寿命影响在第二位;而腐蚀环境对日历寿命影响更大一些,对飞行小时寿命影响在第二位。但总的来说,疲劳载荷对飞机结构使用寿命的影响是最重要的因素,腐蚀环境影响是第二重要因素,也正因为这样,本书在对飞机结构载荷/环境谱的阐述中,主要是阐述飞机结构载荷谱的有关内容,而对飞机结构环境谱方面则是放在第二位。也就是说,飞机载荷/环境谱包括的上述三种类型谱中,根据具体情况和不同的侧重,本书中的飞机结构载荷/环境谱可以是指其中任

意一种谱、两种谱或全部三种谱,但重点是指飞机结构载荷谱。

本章先简单介绍飞机结构载荷/载荷谱和环境/环境谱的一些基本知识,简述飞机结构载荷/环境谱在飞机结构设计中的重要性及飞机结构载荷/环境谱的历史发展,并介绍飞机结构载荷/环境谱所依据的标准和规范要求。

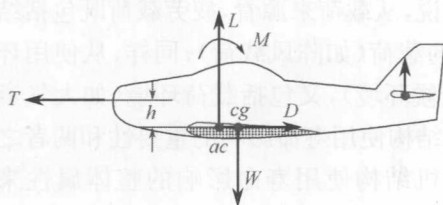
飞机结构载荷谱是飞机结构载荷的一种,属于飞机载荷范畴,它具有飞机载荷的共同属性;同样,飞机结构环境谱(特别是腐蚀环境谱)是飞机结构环境的一类,它具有飞机环境的共同属性。因此,本章将分别从飞机载荷和环境入手来阐述飞机结构载荷/环境谱的有关内容。

1.2 飞机载荷和载荷谱基本知识

1.2.1 飞机载荷

1. 飞机载荷概念

飞机载荷是飞机在使用过程中作用在飞机结构上各种力的总称,简言之,飞机载荷是指作用在飞机上的力和力矩。例如,图 1-1 表示在对称飞行中作用在典型飞机上的气动力和气动力矩,这些力包括升力 L 、重力 W 、推力 T 、阻力 D 及俯仰力矩 M 等。这些力在飞机水平直线飞行中是处于平衡状态的,也就是说,升力、重力等各种垂直力之和等于零,推力、阻力等各种水平力之和等于零,机翼俯仰力矩、水平尾翼平衡力矩、推力线位置引起的力矩等各种力矩之和等于零,即



$$\Sigma \text{垂直力} = 0 \quad (1-1)$$

$$\Sigma \text{水平力} = 0 \quad (1-2)$$

$$\Sigma \text{力矩} = 0 \quad (1-3)$$

飞机在使用过程中,各零部件上作用有各种各样载荷,一些零部件在飞行中所受到的载荷是最危险的,而另一些零部件则是在起飞和着陆时最危险,它们往往会导致飞机一些零部件失效和结构破坏,甚至会导致机毁人亡。因此,在飞机设计和验证中必须对飞机载荷给予特别关注,要准确计算载荷并正确验证飞机结构载荷和强度,以确保飞机结构在使用中的可靠性和安全性。

图 1-1 作用在飞机上的力和力矩

的,而另一些零部件则是在起飞和着陆时最危险,它们往往会导致飞机一些零部件失效和结构破坏,甚至会导致机毁人亡。因此,在飞机设计和验证中必须对飞机载荷给予特别关注,要准确计算载荷并正确验证飞机结构载荷和强度,以确保飞机结构在使用中的可靠性和安全性。

2. 飞机载荷分类

飞机载荷可以从不同角度进行分类。

1) 按载荷性质分

飞机载荷可分为静载荷、动载荷(振动载荷、声载荷、冲击载荷等)、疲劳载荷和热载荷。

从力学角度来说,静载荷和动载荷是以载荷的变化速率为主要特征,用结构固有频率为参照,载荷大小、方向及作用点随时间缓慢变化者为静载荷,快速变化者为动载荷;疲劳载荷是以载荷的交变性和重复性为主要特征,无论什么载荷,只要反复多次作用于飞机结构,则都是疲劳载荷。所以,疲劳载荷可以是静态的,也可以是动态的。热载荷是以温度对载荷的影响为主要特征。