

V267-62
1002-4

飞机结构维修指南

中国民用航空局科技教育司 编著



一九九五年五月十七日



30739665

北京航空航天大学出版社

1993

739665

50-1001
A-1001
(京)新登字 166 号

内 容 简 介

《飞机结构维修指南》全书共分五章：第一章给出了飞机结构的受力分析方法；第二章介绍了飞机结构设计准则与修理准则；第三章论述了飞机结构的损伤及其检测方法；第四章论述了飞机结构的修理方法；第五章论述了飞机结构的腐蚀及其控制方法。

本书主要供飞机维修工程师和适航管理人员参考使用，对飞机结构设计人员和教学人员也具有一定的参考价值。



飞 机 结 构 维 修 指 南 FEIJI JIEGOU WEIXIU ZHINAN

中国民用航空局科技教育司 编著

北京航空航天大学出版社出版

北京百善印刷厂印装

787×1092 毫米 16 开本 印张 30.125 805 千字

1993 年 6 月第一版 1993 年 6 月北京第一次印刷

印数：001—500 册

ISBN 7-81012-441-2/V·032 定价：68.00 元

880087

主 编 杜洪增
副主编 (以姓氏笔划为序)
周春陵
阎求根
翟月英

主 审 郑宝书
副主审 (以姓氏笔划为序)
丁瑞甫
贾国荣

编 委
(以姓氏笔划为序)

丁克美 田秀云 冯锦昌 刘绍文
李朝华 杜洪增 孟治寰 周春陵
苗长瑞 高金华 阎求根 翟月英
魏秀云

特邀审阅专家

(以姓氏笔划为序)
邓振瑛 (第二、三、四章)
成万植 (第一章)
何庆芝 (第二章)
李金柱 (第五章)
张德万 (第三章)

责任编辑 李 焯 洪尚琴
执行编辑 (以姓氏笔划为序)
王军彩
吕忆军
林 冰

编、校、审人员

(以姓氏笔划为序)

第一章 飞机结构的受力分析

责任副主编 周春陵

编写 田秀云 杜洪增 陈志刚

校核 田秀云 杜洪增 周春陵

审核 贾国荣

第二章 飞机结构设计准则与修理准则

责任副主编 周春陵

编写 田秀云 冯锦昌 杜洪增 翟月英

校核 田秀云 杜洪增 周春陵

审核 丁瑞甫 贾国荣

第三章 飞机结构的损伤及其检测

责任副主编 翟月英

编写 丁克美 王学民 杜洪增 周佩华 杨晓东 翟月英

校核 王景新 田秀云 冯锦昌 杜洪增

审核 丁瑞甫

第四章 飞机结构的修理

责任副主编 翟月英

编写 丁瑞甫 刘绍文 杜洪增 周春陵 高金华 程梦周 程 辉

翟月英 魏秀云

校核 丁瑞甫 杜洪增 周春陵 阎求根 翟月英

审核 丁瑞甫

第五章 飞机结构的腐蚀及其控制

责任副主编 阎求根

编写 甘宝清 任一木 邹邦坤 何国斌 李朝华 孟治寰 张相和

易越豪 倪 清

校核 田志廷 朱家书 何国斌 吴章通 李朝华 孟治寰

审核 丁瑞甫 贾国荣

前 言

《飞机结构维修指南》(以下简称《指南》)是在中国民航局科教司组织下,由中国民航学院、北京飞机维修工程有限公司、成都飞机维修工程公司和民航局第一研究所等四个单位共三十余名维修技术人员、科研人员和教学人员共同编写的。它是我国以民用运输机结构维修为对象而编写的第一部指导性技术文献。

一、编写《指南》的目的与意义

1. 该《指南》为飞机维修工程师检测飞机结构损伤,正确地维修飞机结构,提供必要的理论和分析方法;并且,通过系统地介绍飞机结构设计思想和设计准则,使飞机维修工程师将飞机结构的设计思想和维修思想科学地结合起来,从而提高维修水平。

2. 该《指南》通过分析不同民用机型的飞机结构维修规程,总结出带有共性的飞机结构维修思想、维修方法和维修技术,以使飞机维修工程师便于掌握飞机结构的维修规程。

3. 该《指南》通过对我国民用飞机结构维修经验的科学总结和分析,指导飞机维修工程师科学地运用维修经验。

4. 该《指南》介绍了当代国内、外先进的维修理论和维修技术,以使飞机维修工程师便于掌握这些先进的维修理论和维修技术。

二、《指南》的使用对象

该《指南》可用作飞机维修工程师维护和修理飞机结构的参考资料,也可供适航管理人员参考。它对飞机结构设计人员和教学人员也有一定的参考价值。

三、《指南》与机型维修资料的关系及其使用说明

1. **当某型飞机结构修理手册给出某种损伤的修理方法时,制定结构修理方案应以结构修理手册为依据。**对于超出结构修理手册范围的重大结构修理,可参考该《指南》制定修理方案,但必须将修理方案报制造厂家和本国适航当局,得到制造厂家认可和本国适航当局批准后,方可实施修理。

2. **该《指南》仅作为指导性参考文献,不作为法规性文件。**

3. 该《指南》若干章节为了更清楚阐述问题和便于参考起见,引用了现行法规性文件(含结构修理手册)中的部分数据和维修技术条件。随着飞机结构维修思想的发展和机型维修经验的积累以及适航部门在维修方面不断提出一些新的要求,这些数据和维修技术条件可能会有所变化,希望维修人员参考该《指南》时注意到这一点,以新的数据和维修技术条件为准。

该《指南》没有涉及到起落架和复合材料等方面的维修理论和维修技术。关于这方面的维修问题可参考有关文献。

随着飞机结构设计思想和维修思想的发展,飞机结构维修技术也在不断发展;另外,我们也是初次编写这样一部飞机结构维修指导性书籍,水平有限。因此,该《指南》中不可避免地会存在许多不完善之处,需要在使用中不断充实、修改和完善。热诚希望读者提出宝贵意见,以便更正。

在该《指南》的编写和出版过程中,民航局科教司杨颂伟,中国民航学院张庆恩、朱培昌、

韩晓玲,北京飞机维修工程有限公司刘奇才,成都飞机维修工程公司杨孟明,民航局第一研究所许树康做了大量组织管理工作,民航局第一研究所莫及所长对该《指南》的出版给予了大力支持;另外,还得到了一些有关同志的大力支持,我们一并表示致谢。

中国民用航空局科技教育司

1991. 12. 20 于北京

目 录

第一章 飞机结构的受力分析

1.1 飞机的外载荷及剩余强度	(1)
1.1.1 飞机的外载荷	(1)
1.1.1.1 飞机平飞外载荷	(1)
1.1.1.2 飞机机动飞行外载荷	(1)
1.1.1.3 飞机突风外载荷	(3)
1.1.2 飞机的过载	(5)
1.1.2.1 过载的基本概念及意义	(5)
1.1.2.2 飞机各部位的局部过载	(6)
1.1.2.3 飞机着陆时的过载	(7)
1.1.3 飞机的最大使用过载和最大允许速压	(8)
1.1.3.1 飞机的最大使用过载	(8)
1.1.3.2 飞机的最大允许速压	(8)
1.1.4 安全系数与剩余强度	(10)
1.1.4.1 安全系数	(10)
1.1.4.2 剩余强度	(11)
1.2 机翼的外载荷和力图	(11)
1.2.1 机翼的外载荷	(11)
1.2.1.1 空气动力	(11)
1.2.1.2 机翼结构质量力	(13)
1.2.2 机翼的力图	(14)
1.2.2.1 平直机翼的力图	(14)
1.2.2.2 后掠机翼的力图	(15)
1.3 机翼结构的传力分析	(16)
1.3.1 基本结构元件的受力特性	(16)
1.3.1.1 杆元件的受力特性	(16)
1.3.1.2 薄板元件的受力特性	(17)
1.3.1.3 平面板杆结构的受力特性	(17)
1.3.1.4 平面梁的受力特性	(18)
1.3.2 传力分析的一般方法	(19)

1.3.3	传力分析的一般准则	(20)
1.3.4	空气动力向机翼翼肋的传递过程	(22)
1.3.5	机翼结构中剪力、弯矩及扭矩的传递	(23)
1.3.6	机翼结构中的剪力、弯矩和扭矩向机身结构的传递分析	(27)
1.4	机翼结构的应力分析	(28)
1.4.1	机翼横截面的应力分析	(28)
1.4.1.1	机翼横截面的惯性矩	(29)
1.4.1.2	机翼横截面的正应力	(31)
1.4.1.3	机翼横截面的剪应力	(32)
1.4.2	翼肋的受力分析	(34)
1.4.2.1	翼肋的类型	(34)
1.4.2.2	翼肋的受力分析	(35)
1.4.3	后掠机翼根部的传力分析	(41)
1.4.3.1	单块式后掠机翼根部应力分布的后掠效应	(41)
1.4.3.2	单块式后掠机翼的传力分析	(41)
1.5	副翼和尾翼的受力分析	(43)
1.5.1	副翼的受力分析	(43)
1.5.1.1	作用在副翼上的外载荷	(43)
1.5.1.2	副翼结构中力的传递	(44)
1.5.1.3	副翼的剪力、弯矩和扭矩图	(45)
1.5.1.4	副翼结构的总体应力	(45)
1.5.2	尾翼的受力分析	(45)
1.5.2.1	尾翼的载荷	(45)
1.5.2.2	尾翼的剪力、弯矩和扭矩图	(47)
1.6	机身结构的外载荷、力图与传力分析	(48)
1.6.1	机身结构的外载荷和力图	(48)
1.6.1.1	对称载荷	(48)
1.6.1.2	不对称载荷	(49)
1.6.1.3	其他外载荷	(51)
1.6.2	机身结构的传力分析	(51)
1.6.2.1	垂直载荷的传递	(51)
1.6.2.2	水平载荷的传递	(52)
1.7	机身横截面的应力分析	(53)
1.7.1	机身结构横截面的几何特性	(53)
1.7.1.1	计算模型	(53)
1.7.1.2	惯性矩的计算	(54)
1.7.2	机身横截面上的正应力	(54)
1.7.3	机身横截面上的剪应力	(54)
1.8	机身隔框的受力分析	(56)

1.8.1	普通框的受力分析	(56)
1.8.1.1	机身弯曲时普通框的受力分析	(56)
1.8.1.2	机身增压时普通框的受力分析	(57)
1.8.2	加强框的受力分析	(58)
1.8.2.1	环形加强框的受力分析	(58)
1.8.2.2	板式加强框的受力分析	(59)
1.8.2.3	球面加强框的受力分析	(61)
1.9	飞机结构开口区的受力分析	(63)
1.9.1	开口与口盖的分类	(63)
1.9.1.1	开口的分类	(63)
1.9.1.2	口盖的分类	(64)
1.9.2	中、小开口区的受力分析	(64)
1.9.2.1	基体结构受剪时,开口区的受力分析	(64)
1.9.2.2	基体结构受轴力时,开口区的受力分析	(66)
1.9.2.3	蒙皮上小开口区的受力分析	(67)
1.9.2.4	翼梁、翼肋和环形隔框腹板开洞后的受力分析	(67)
1.9.2.5	口盖为传剪力口盖时,开口区的受力分析	(70)
1.9.2.6	前机身上、下方开口区的受力分析	(71)
1.9.2.7	机身窗口区的受力分析	(71)
1.9.2.8	机身客舱门开口区的受力分析	(72)
1.9.2.9	机身货舱门开口区的受力分析	(76)
1.9.3	机翼大开口区的受力分析	(78)
1.9.3.1	大开口区剪力的传递分析	(78)
1.9.3.2	大开口区弯矩的传递分析	(78)
1.9.3.3	大开口区扭矩的传递分析	(79)
1.9.4	机身大开口区的受力分析	(81)
1.9.4.1	大开口区的传剪分析	(81)
1.9.4.2	大开口区弯矩的传递	(82)
1.9.4.3	大开口区扭矩的传递	(82)

第二章 飞机结构设计准则与修理准则

2.1	静强度设计准则	(84)
2.1.1	构件的静强度判据	(84)
2.1.1.1	构件的拉伸强度判据	(84)
2.1.1.2	构件的压缩强度判据	(85)
2.1.1.3	构件受剪的强度判据	(85)
2.1.1.4	复合受力情况下的强度判据——强度理论	(86)
2.1.2	连接强度计算	(87)
2.1.2.1	铆钉连接的强度计算	(87)

2.1.2.2	螺栓连接的强度计算	(91)
2.1.2.3	耳片连接的强度计算	(95)
2.2	飞机结构的等强度修理准则	(97)
2.2.1	局部等强度修理准则	(98)
2.2.1.1	局部等强度修理准则的基本思想	(98)
2.2.1.2	原构件损伤处横截面上的最大估计内力	(98)
2.2.1.3	补强件横截面积和形状的确定	(98)
2.2.1.4	连接铆钉的确定	(99)
2.2.2	总体等强度修理准则	(99)
2.2.2.1	总体等强度修理准则的基本思想	(99)
2.2.2.2	应用实例	(100)
2.3	刚度设计与其修理准则	(102)
2.3.1	机翼的弯扭颤振及相应的刚度设计	(102)
2.3.1.1	机翼的弯扭颤振	(102)
2.3.1.2	防止机翼弯扭颤振的刚度设计	(104)
2.3.2	机翼弯曲一副翼颤振及相应的刚度设计	(104)
2.3.2.1	机翼弯曲一副翼颤振	(104)
2.3.2.2	防止机翼弯曲一副翼颤振的刚度设计	(105)
2.3.3	尾翼颤振及相应的刚度设计	(105)
2.3.4	副翼和舵面的操纵反效问题	(105)
2.3.5	操纵面维修过程中的平衡检查	(106)
2.3.6	其他刚度设计及修理准则	(106)
2.4	抗疲劳设计思想	(107)
2.4.1	抗疲劳设计思想的发展	(107)
2.4.2	安全寿命设计思想	(108)
2.4.3	破损安全与损伤容限设计思想	(109)
2.4.3.1	破损安全设计思想	(109)
2.4.3.2	损伤容限设计思想	(109)
2.4.4	耐久性设计	(118)
2.4.4.1	耐久性设计的含义和基本要求	(118)
2.4.4.2	耐久性细节设计方法	(118)
2.4.4.3	耐久性设计的分析方法	(119)
2.4.4.4	耐久性试验	(119)
2.4.5	耐久性设计和损伤容限设计之间的联系与区别	(119)
2.5	抗疲劳设计与修理的一般准则	(120)
2.5.1	合理选材	(120)
2.5.2	适当控制应力水平	(121)
2.5.3	避免或减缓应力集中	(121)
2.5.3.1	应力集中对构件疲劳强度的影响	(121)

2.5.3.2	避免或减缓应力集中的措施	(122)
2.5.4	注意刚度和变形协调问题	(124)
2.5.5	注意某些特殊部位的振动问题	(127)
2.5.6	尽量采用经过实践考验证明是有效的高疲劳寿命的结构形式	(128)
2.6	连接件抗疲劳设计与修理准则	(129)
2.6.1	耳片与销钉(螺栓)连接的抗疲劳措施	(129)
2.6.2	螺栓连接的抗疲劳措施	(129)
2.6.2.1	螺栓连接形式对疲劳强度的影响	(129)
2.6.2.2	螺栓的抗疲劳措施	(131)
2.6.2.3	螺栓施加预紧力对疲劳强度的影响	(132)
2.6.3	铆钉连接的抗疲劳措施	(134)
2.6.3.1	连接件的连接形式	(134)
2.6.3.2	铆钉的排列形式	(134)
2.6.4	焊接接头的抗疲劳设计	(135)
2.6.4.1	焊接接头疲劳裂纹萌生部位	(135)
2.6.4.2	应力集中对焊缝疲劳强度的影响	(136)
2.6.4.3	抗疲劳设计与工艺措施	(137)
2.6.4.4	点焊及其抗疲劳设计	(139)
2.7	飞机结构制造和修理过程中的抗疲劳工艺措施	(140)
2.7.1	一般抗疲劳装配工艺措施	(140)
2.7.2	特殊抗疲劳装配工艺措施	(141)
2.7.2.1	孔壁挤压强化	(141)
2.7.2.2	干涉配合	(144)
2.7.3	表面强化工艺措施	(147)
2.7.3.1	表面喷丸强化工艺	(147)
2.7.3.2	其他表面处理工艺	(152)
2.8	提高飞机结构抗应力腐蚀能力和腐蚀疲劳强度的基本措施	(152)
2.8.1	提高抗应力腐蚀能力的基本措施	(152)
2.8.1.1	产生应力腐蚀的基本要素	(152)
2.8.1.2	基本措施	(153)
2.8.2	提高腐蚀疲劳强度的基本措施	(155)
2.8.2.1	环境因素对疲劳强度的影响	(155)
2.8.2.2	基本措施	(155)

第三章 飞机结构的损伤及其检测

3.1	飞机结构的损伤	(157)
3.1.1	损伤的基本类型	(157)
3.1.1.1	按损伤程度分类	(157)
3.1.1.2	按损伤原因分类	(157)

3.1.2	紧固件的损伤模式与检查	(158)
3.1.2.1	铆钉的损伤模式与检查	(158)
3.1.2.2	螺栓的损伤模式与检查	(159)
3.1.3	接头的损伤模式	(160)
3.1.3.1	接头的疲劳损伤	(160)
3.1.3.2	接头的应力腐蚀	(160)
3.1.3.3	接头的氢脆、镉脆及锌脆等脆裂损伤	(161)
3.1.4	飞机结构的腐蚀特征	(161)
3.1.4.1	飞机结构常用合金腐蚀产物的颜色特征	(161)
3.1.4.2	构件腐蚀后的外表特征	(161)
3.2	裂纹的类型与特征	(164)
3.2.1	应力腐蚀裂纹	(164)
3.2.1.1	应力腐蚀的特征	(164)
3.2.1.2	应力腐蚀裂纹与氢脆裂纹的鉴别	(166)
3.2.2	疲劳裂纹	(167)
3.2.2.1	疲劳断裂的宏观特征	(167)
3.2.2.2	疲劳断裂的微观特征	(169)
3.2.2.3	腐蚀环境下的疲劳裂纹特征	(173)
3.3	结构密封性试验	(175)
3.3.1	概述	(175)
3.3.2	气密舱的密封性要求	(175)
3.3.3	气密舱的密封试验	(176)
3.3.3.1	整机气密舱地面密封试验方法	(176)
3.3.3.2	泄漏时间的修正	(176)
3.3.3.3	局部密封试验	(178)
3.3.4	结构油箱的密封试验	(178)
3.3.4.1	煤油渗漏法	(178)
3.3.4.2	仪器测试法	(178)
3.3.5	气密舱和结构油箱的泄漏模式及影响因素的分析	(179)
3.3.5.1	气密舱和结构油箱的泄漏模式	(179)
3.3.5.2	影响密封舱结构密封性的因素	(179)
3.4	光学一目视检查法	(180)
3.5	射线检测方法	(180)
3.5.1	射线检测基本原理	(180)
3.5.2	射线检测在飞机结构维修中的应用	(181)
3.5.3	射线检测的要求和胶片的评判	(182)
3.5.3.1	射线检测的要求	(182)
3.5.3.2	胶片的评判	(182)
3.5.4	机上射线检测实例	(183)

3.6	超声波检测方法	(186)
3.6.1	什么是超声波检测方法	(186)
3.6.2	超声波的发射和接收	(186)
3.6.3	超声波的特性	(187)
3.6.4	超声波检测工艺	(188)
3.6.4.1	几种超声波探伤方法	(188)
3.6.4.2	探伤方案的确定	(190)
3.6.5	超声波检测在工业中的应用	(191)
3.6.6	超声波检测在飞机维修中的应用实例	(192)
3.7	磁粉检测方法	(192)
3.7.1	磁粉检测的原理	(192)
3.7.1.1	什么是磁粉检测	(192)
3.7.1.2	钢铁材料的磁性和磁滞回线	(193)
3.7.2	磁粉检测的磁化方法	(194)
3.7.2.1	周向磁化法	(194)
3.7.2.2	纵向磁化法	(196)
3.7.2.3	复合磁化法	(196)
3.7.3	磁粉检测的应用	(196)
3.7.3.1	锻钢件的磁粉检测	(196)
3.7.3.2	焊缝的磁粉检测	(198)
3.7.3.3	应用实例	(199)
3.8	涡流检测方法	(199)
3.8.1	涡流检测基本原理	(199)
3.8.2	涡流检测应用范围	(200)
3.8.3	涡流检测在飞机结构维修中的应用	(201)
3.9	渗透检测方法	(202)
3.9.1	渗透检测的基本原理	(202)
3.9.2	渗透检测方法的种类和特点	(203)
3.9.2.1	渗透检测的种类	(203)
3.9.2.2	渗透液分类和特点	(203)
3.9.2.3	显像法的种类和特点	(204)
3.9.3	渗透检测的应用范围	(204)
3.9.4	渗透检测方法的选择	(205)
3.9.5	渗透检测工艺	(206)
3.9.6	渗透检测实例	(206)
3.10	飞机结构腐蚀损伤的无损检测方法	(206)
3.10.1	超声波检测法	(207)
3.10.2	涡流检测法	(207)
3.10.3	X射线照相法	(209)

3.11 无损检测方法的选取	(209)
3.11.1 表面裂纹的检测	(210)
3.11.1.1 铝合金结构件	(210)
3.11.1.2 钢结构件	(210)
3.11.1.3 钛合金结构件	(210)
3.11.2 隐藏面裂纹的检测	(210)
3.11.2.1 涡流检测法	(211)
3.11.2.2 X射线检测法	(212)
3.11.2.3 超声波检测法	(212)
3.11.3 紧固件孔裂纹的检测	(212)
3.11.4 腐蚀检测方法的选取	(213)
3.11.4.1 X射线检测	(213)
3.11.4.2 用超声波数字厚度计检测	(213)
3.11.4.3 低频涡流检测	(213)
3.12 其他无损检测方法简介	(214)
3.12.1 激光全息无损检测方法	(214)
3.12.2 红外无损检测方法	(214)
3.12.3 声振检测方法	(215)
3.12.4 声发射检测方法	(217)
3.12.5 微波检测方法	(217)

第四章 飞机结构的修理

4.1 飞机结构修理方案的制定	(219)
4.1.1 制定结构修理方案的依据	(219)
4.1.2 制定结构修理方案时应考虑的基本因素	(219)
4.1.2.1 弄清损伤原因和确定损伤件及其所在部位,综合考虑诸影响因素	(219)
4.1.2.2 满足气动力光滑性要求	(219)
4.1.2.3 满足静强度、刚度、疲劳强度等方面的要求	(220)
4.1.2.4 满足防腐控制要求	(221)
4.1.2.5 可检性要求	(221)
4.1.2.6 可接近性要求	(221)
4.1.2.7 密封性要求	(221)
4.1.2.8 经济性要求	(221)
4.1.3 临时性结构修理	(221)
4.2 结构件的可允许损伤及其修整措施	(223)
4.2.1 损伤容限值的影响因素	(223)
4.2.2 结构件的可允许损伤及其修整措施	(223)
4.2.2.1 蒙皮的可允许损伤及其修整措施	(224)
4.2.2.2 隔框、翼肋和翼梁的可允许损伤及其修整措施	(226)

4.2.2.3	接头耳片的可允许损伤	(228)
4.3	含裂纹构件检测周期的确定方法	(228)
4.3.1	概述	(228)
4.3.2	裂纹尖端附近的应力场	(231)
4.3.3	断裂韧度和裂纹失稳扩展准则及应用	(234)
4.3.4	构件裂纹扩展速率	(239)
4.3.4.1	疲劳裂纹扩展速率	(239)
4.3.4.2	应力腐蚀裂纹扩展速率	(244)
4.3.4.3	腐蚀疲劳裂纹扩展速率	(248)
4.3.5	含裂纹构件检测周期的确定	(249)
4.3.5.1	含裂纹构件在等幅交变载荷作用下的剩余寿命计算	(249)
4.3.5.2	疲劳载荷谱简介	(250)
4.3.5.3	变幅交变载荷下含裂纹构件的剩余寿命	(253)
4.3.5.4	检修周期的确定	(254)
4.3.6	应用实例	(254)
4.4	结构件的止裂措施	(256)
4.4.1	在裂纹尖端打止裂孔	(256)
4.4.1.1	止裂孔的作用	(256)
4.4.1.2	止裂孔的大小	(256)
4.4.1.3	止裂孔的位置	(256)
4.4.1.4	止裂孔的质量要求	(257)
4.4.2	采用加补片的方法加强构件	(257)
4.4.2.1	补片材料的选取	(257)
4.4.2.2	补片的形状与尺寸	(257)
4.4.2.3	补片与构件的连接设计	(257)
4.4.2.4	铆接补片的施工要求	(258)
4.4.3	机械清除裂纹措施	(258)
4.4.4	其他止裂措施的简单介绍	(259)
4.4.4.1	焊接止裂措施	(259)
4.4.4.2	人工制造残余压应力区的缓裂措施	(259)
4.4.4.3	软化裂纹尖端区金属材料的缓裂措施	(259)
4.5	机翼结构的修理	(259)
4.5.1	修理要求	(259)
4.5.2	机翼蒙皮的修理	(260)
4.5.2.1	长桁间损伤蒙皮的修理	(260)
4.5.2.2	长桁处损伤蒙皮的修理	(262)
4.5.2.3	机翼前缘蒙皮的修理	(265)
4.5.3	机翼长桁的修理	(269)
4.5.3.1	长桁的贴补修理	(269)

4.5.3.2	长桁的挖补修理	(269)
4.5.3.3	长桁的切割修理	(270)
4.5.4	翼梁的修理	(274)
4.5.4.1	缘条的贴补修理	(274)
4.5.4.2	翼梁腹板的修理	(275)
4.5.5	翼肋的修理	(278)
4.5.5.1	翼肋弯边损伤的修理	(278)
4.5.5.2	翼肋腹板的修理	(278)
4.5.6	机翼后缘蒙皮的修理	(279)
4.5.7	修理实例	(279)
4.6	机身结构的修理	(285)
4.6.1	隔框的修理	(285)
4.6.2	地板构架的修理	(287)
4.6.2.1	加强修理	(288)
4.6.2.2	割换修理	(288)
4.6.3	胶连焊接的修理	(289)
4.6.4	修理实例	(290)
4.7	接头与连接区的修理	(293)
4.7.1	接头表面损伤的修理	(293)
4.7.2	孔壁损伤的修理	(294)
4.7.3	连接间隙问题	(294)
4.7.4	改善接头疲劳性能的主要工艺措施	(295)
4.7.4.1	冷加工强化	(295)
4.7.4.2	干涉配合	(296)
4.7.4.3	喷丸强化	(296)
4.7.5	铆接和螺接的连接强度校核计算	(296)
4.7.5.1	铆接和螺接强度校核计算的基本假设	(297)
4.7.5.2	铆接和螺接连接的静强度校核计算	(297)
4.7.6	偏心受载问题	(300)
4.7.6.1	偏心承剪	(300)
4.7.6.2	偏心受拉	(300)
4.7.6.3	偏心剪切带板	(300)
4.7.6.4	角片	(302)
4.7.6.5	承拉角形接头	(303)
4.7.7	修理实例	(304)
4.8	紧固件的选择	(308)
4.8.1	飞机结构修理中紧固件类型的选用	(309)
4.8.2	螺栓类紧固件的选择	(310)
4.8.2.1	螺栓的种类及特征	(310)