



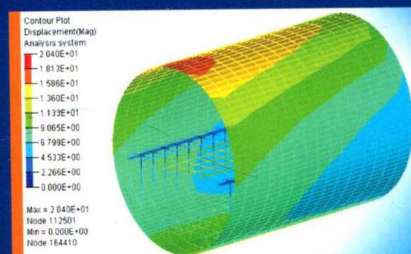
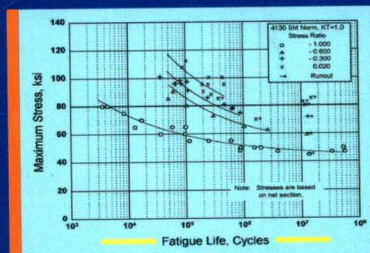
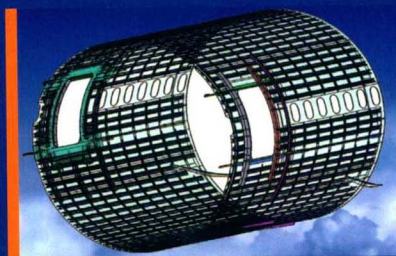
国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



民机结构分析和设计

第3册

民机结构设计手册



秦福光 主 编
张嘉振 胡震东 副主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

民机结构分析和设计

第3册

民机结构设计手册

秦福光 主 编

张嘉振 胡震东 副主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书作为民用飞机结构设计的参考书,主要包含以下内容:①金属材料结构通用设计准则,介绍接头与结构的紧固件设计、抗疲劳设计、损伤容限设计、防腐设计、系统安装设计、民机内饰设计、舱内声学设计、先进金属材料和先进加工工艺以及金属结构的工艺性等;②复合材料结构通用设计准则,介绍 FAA 咨询通报 AC20-107 典型问题解读、复合材料层合板结构铺层设计、复合材料夹层结构设计准则、复合材料机械连接、复合材料零件受环境的影响以及防护、复合材料零件损伤检测和结构修理、热塑性复合材料和热塑性复合材料焊接的应用和先进纤维金属层板的特点和应用;③机身结构设计,介绍典型机身结构的设计方案,并给出设计实例;④机翼结构设计,介绍典型机翼结构布置方案,并给出相关结构的设计实例;⑤飞机尾翼结构设计,介绍典型尾翼结构的设计方案;⑥短舱吊挂结构设计,介绍翼吊发动机短舱及吊挂结构的设计方案。

本书可供民机结构设计人员参考,也可作为民机结构维护、维修领域相关从业人员的辅助工具书。

图书在版编目(CIP)数据

民机结构分析和设计. 第3册,民机结构设计手册 /
秦福光主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社,
2015.5

ISBN 978-7-5124-1765-6

I. ①民… II. ①秦… III. ①民用飞机—结构设计—
技术手册 IV. ①V271-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 082728 号

版权所有,侵权必究。

民机结构分析和设计

第3册

民机结构设计手册

秦福光 主 编

张嘉振 胡震东 副主编

责任编辑 张艳学 蔡 喆

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京宏伟双华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:889×1 194 1/16 印张:28.5 字数:922 千字

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5124-1765-6 定价:150.00 元

《民机结构分析和设计手册》

编写委员会

主 任 杜善义

副主任 李东升 梁 波 姜丽萍 朱广荣

主 编 秦福光

副主编 张嘉振 胡震东

编 委 周良道 刘建中 董登科 周振功 张博明 汪 海

编写人员

《民机材料和结构性能数据手册》

张金玲	齐 绿	魏绎邴	李 明	王 裕	马立敏	王新林	向敬忠
宋 欣	潘承怡	吴雪峰	戴 野	沙 宇	白士刚	韩建勇	王亚辉
魏 东	王 涛	朱 辉	孔泳力	赵岩成	李振远	沈 阳	陈杨柳
高梦瑾	董登科	张 侃	陈 安	窦秋芳	张海英	刘建中	陈 勃
高倩倩	胡本润						

《民机结构分析手册》

冯 娟	刘 倩	王安俊	肖 浩	苏怀忠	邱 菊	杨洪琴	李忠峰
史 前	张继鹏	王 玥	赵 元	王时玉	祖士明	刘海涛	余 音
刘魏光	刘龙权	彭 蒙	于哲峰	陈 艳	宁宝军	唐占文	于雅琳
郭艳丽	祁国成	孟姗姗	甘民可				

《民机结构设计手册》

郭红军	包伟英	温顺达	姬杨玲	侯亚峰	黄海龙	许 延	谷 斌
王 裕	聂 磊	汤家力	赵 毅	朱林刚	刘朝妮	刘衰财	汪 洋
李 强	季佳佳	徐东明	刘长玮	方 芳			

序

《运输类飞机适航标准》对民用飞机(简称“民机”)的研制提出了通用性原则和基本的安全性要求,对民机结构材料的性能、结构分析和设计方法都有明确的要求。

民用飞机研制需要准确的材料设计许用值与结构设计参数,以规范民机结构设计,保证分析和计算结果的可比性和可靠性。随着飞机设计思想的进步和技术水平的提高,对飞机结构材料性能的要求也越来越高。目前,我国民机研制还没有一部系统的、能够满足适航要求的民机材料和结构性能手册。

随着世界民机市场竞争的不断加剧,现代的民机结构不断朝着轻量化、长寿命和高可靠性方向发展,其结构分析和设计方法也随着设计水平的提高、材料性能的改善而改变。结构分析和设计手册作为民用飞机设计公司的设计基础及依据,直接关系到民机的产品质量和市场竞争能力。国外飞机设计公司将多年的设计经验固化在其分析和设计手册中,通过手册进行知识和经验的传承,以满足其不断发展的需要。我国的民机发展战略刚刚确立,迫切需要一套完整、系统的民机结构设计分析方面的手册,为民机在研制过程中提供基础数据和有关设计规范,推进民机研制的顺利开展。在一定意义上,编写民机结构分析和设计手册是我国民机发展方面一项重要的技术和工程建设,能够为我国民机研制、特别是适航取证提供重要技术支撑,推动我国民机研制能力的快速发展,具有重要而深远的意义。

《民机结构分析和设计》编写组通过走访我国航空工业集团和中国商飞公司一线的有关设计和研制人员,充分了解了国内现有手册的优点及不足,在此基础上提出了本手册的编制思路。首先,研究了《运输类飞机适航标准》对民机结构设计的具体要求,用适航的要求对材料、结构、强度和试验等流程的经验进行总结;第二,充分借鉴了中国商飞公司在研的型号 ARJ21 和 C919 的结构分析和设计经验,结合工程实际,针对典型的飞机结构,用大量的设计和分析实例对问题进行深入说明,方便结构分析和设计工程师深入体会和理解各种结构的分析和设计方法;最后,收集和整理了大量的国外文献和资料,引用了包括 MMPDS、MIL-HDBK-17、ESDU 等大量数据、方法和标准。

编制手册是一项系统工程,需要长期的投入和不断更新,编写组收集和整理了大量的资料,完成了《民机结构分析和设计》的编写。但是,民机的材料、结构设计和分析技术日新月异,随着民机技术的发展,还需要不断对手册内容进行更新,使其更具有参考价值。相信此手册对我国民机的研制和发展定会起到重要的推动作用。

中国工程院院士 杜善义

前言

民用飞机(简称“民机”)的结构设计工作是整个飞机设计工作的重点与难点,结构设计的好坏直接影响民机结构的安全性、经济性、舒适性和环保性。良好的设计一方面能降低制造、装配难度,提高生产效率并降低生产成本;另一方面也能使民机具备较好的维护、维修性能,降低日常维护成本,提高飞机的整体竞争力。当前,先进复合材料在飞机主承力结构上已大量应用,如:A350XWB和787两个最新型号的复合材料的用量均超过50%。复合材料结构的最大特点是设计、生产一体化,结构设计时必须考虑可制造性及后续的结构维修性能,对飞机结构设计提出了更高的要求。

世界各主要民用飞机制造商都拥有各自较为完备的民机结构设计手册,总结以往型号的经验、教训,给出典型结构的最佳实践,并且不断地对其进行完善和细化,使之成为民用飞机设计的坚实基础。国内现有飞机手册的覆盖内容较广,但实用性和针对适航要求方面有待提高。在ARJ21和C919的研制过程中,中国商用飞机有限责任公司积累了一些民机结构的设计经验。本书旨在以适航要求为指导,结合主要民机研制公司结构设计的经验,为民用飞机的设计工作提供参考。

全书共六篇,主要内容包括:金属材料结构通用设计准则、复合材料结构通用设计准则、机身结构设计、机翼结构设计、飞机尾翼结构设计和短舱吊挂结构设计。

在本书的编写过程中,始终围绕适航符合性验证要求,严格筛选结构设计方法、原则和设计方案,使书中的设计原则、方法和结构设计方案体现已有型号的最佳实践及国际上最新的研究成果。为提高书的实用性,精心编排了针对实际典型民机结构的设计实例,有助于使用本书的工程师加深对于结构的理解。

在本书的编制和修改过程中,得到了北京航空航天大学、上海交通大学、哈尔滨工业大学、中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院等的大力支持,特别得到了杜善义院士的专门指导和极大帮助,在此一并感谢。

本书可供飞机结构设计专业工程师参考。由于水平和资源的限制,书中错误、疏漏和不合适之处,请使用者指正。

编者

2016年12月

本书符号表

符号	单位	物理意义
D, d	mm[in]	直径
E	GPa[psi]	弹性模量
H, h	mm[in]	高度
I	m^4	惯性矩
L, l	mm[in]	长度
R, r	mm[in]	半径
T, t	mm[in]	厚度
W, w	mm[in]	宽度
Φ	mm[in]	直径
K_b		B 基准修正系数
K_{IC}	$\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$	临界应力强度因子
K_{IC}	$\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$	I 型裂纹的临界应力强度因子
K_{ISCC}	$\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$	应力腐蚀临界强度因子

注：① 本民机结构设计手册中所有的图形均为示意图，仅作结构设计参考使用。

② 本书的量和单位以中华人民共和国国家标准为准，但考虑到在实际设计工作中，很多资料（尤其是外版资料）大量应用英制单位，为方便读者使用，亦保留部分英制单位。

目 录

第一篇 金属材料结构通用设计准则

第 1 章 接头与结构的紧固件设计

1.1 一般设计原则	1
1.1.1 螺栓连接件设计	2
1.1.2 螺栓的选择与设计	2
1.1.3 螺栓光杆与配合孔的精度和表面粗糙度	3
1.1.4 铆钉(永久性紧固件)	11
1.1.5 铆钉细节设计方面的考虑	13
1.2 结构紧固件的选择	13
1.3 结构紧固件的布置	14
1.3.1 合理布置螺栓	14
1.3.2 螺栓排列的一般要求	15
1.3.3 铆缝的形式和铆钉的布置	16
1.4 结构紧固件的密封性设计	19
1.5 接头与结构紧固件的抗疲劳设计	19
1.5.1 合理选择铆钉排列的连接形式与参数	19
1.5.2 合理选择铆缝的结构形式	20

第 2 章 防雷设计

2.1 雷击现象	22
2.2 飞机雷击的统计分析	22
2.3 飞机的雷击分区	23
2.4 雷击对飞机的危害及影响结构损伤的雷击参数	24
2.4.1 雷击对飞机的危害	24
2.4.2 影响结构损伤的雷击参数	25
2.5 雷电的损伤机理	26
2.5.1 物理效应	26
2.5.2 电磁效应	26
2.6 燃油系统的防雷电设计	27
2.6.1 金属油箱	27
2.6.2 加油口盖和维护口盖	27
2.7 部件雷电防护要求	29
2.7.1 雷达罩	29
2.7.2 座舱盖、风挡	29

2.7.3	天 线	29
2.7.4	空速管及类似的传感器	29
2.7.5	航行灯	30
2.7.6	螺旋桨和旋翼	30
2.8	搭接要求	30
2.8.1	一般要求	30
2.8.2	主搭接及主搭接线	30
2.8.3	外部金属部件搭接	30
2.8.4	外部非金属部件搭接	30
2.8.5	内部金属部件搭接	31
2.8.6	发动机搭接	31
2.8.7	飞机整体电阻	31
2.9	试验和试验方法	31
2.9.1	试验要求	31
2.9.2	试验波形	31
 第3章 抗疲劳设计		
3.1	材料选择	34
3.2	一般设计原则	34
3.3	细节设计	35
3.4	加工工艺	35
3.5	防腐蚀设计措施	36
3.6	疲劳分析的方法和步骤	37
3.7	耐久性设计	38
3.7.1	结构耐久性设计的基本要求	38
3.7.2	疲劳耐久性分析基本方法	38
 第4章 损伤容限设计		
4.1	损伤容限设计的目标、要求和内容	40
4.1.1	损伤容限的设计目标	40
4.1.2	设计要求	40
4.1.3	损伤容限的设计内容	40
4.1.4	损伤容限设计技术的理论基础	40
4.1.5	损伤容限原理	41
4.1.6	提高飞机结构损伤容限品质的设计措施	41
4.1.7	损伤容限设计的一般程序	42
4.2	损伤容限关键件及其危险部位的确定	48
4.2.1	损伤容限关键件	48
4.2.2	损伤容限危险部位的确定	48
4.3	金属结构裂纹止裂设计	49
4.3.1	缓慢裂纹扩展结构	49
4.3.2	多路传力结构	49

4.3.3 破损安全止裂结构	49
第5章 防腐蚀设计	
5.1 结构的腐蚀机理	51
5.1.1 化学腐蚀	51
5.1.2 电化学腐蚀	51
5.2 机体结构的腐蚀类型	53
5.3 排水设计	54
5.3.1 排水孔设计	55
5.3.2 机身排水设计	56
5.4 易腐蚀零部件的可检测性和可互换性设计	58
5.4.1 可检测性设计	58
5.4.2 可互换性设计	59
5.5 典型金属结构防腐蚀设计	59
5.5.1 整体油箱	59
5.5.2 起落架	59
5.5.3 舱门及口盖	59
5.5.4 厨房和卫生间	60
5.5.5 发动机舱吊舱高温区	61
5.5.6 铝蜂窝夹层	61
5.5.7 紧固件及紧固件安装	61
第6章 系统安装设计	
6.1 座椅的安装设计	62
6.1.1 驾驶员座椅的安装	62
6.1.2 服务员座椅的安装	63
6.1.3 旅客座椅的安装	64
6.2 行李架的安装设计	65
6.2.1 顶部行李箱	65
6.2.2 顶部行李箱组件与机身结构的连接	66
6.3 厨房、卫生间的安装设计	67
6.4 水系统	67
6.4.1 系统设计一般要求	68
6.4.2 对电气系统的要求	68
6.4.3 系统的分类和组成	68
6.5 污水处理系统	71
6.5.1 系统设计要求	71
6.5.2 系统的分类及组成	72
第7章 民机内饰设计要求与规范	
7.1 座舱整体空间布局	76
7.1.1 基本要求	76

7.1.2 客 舱	76
7.1.3 厨 房	77
7.1.4 卫生间	77
7.1.5 衣帽间及行李间	78
7.2 座舱装饰设计依据	78
7.2.1 飞机总体设计要求	78
7.2.2 用户要求	80
7.3 座舱装饰设计要求	80
7.3.1 强度和刚度要求	80
7.3.2 安全性要求	80
7.3.3 舒适性要求	81
7.3.4 可维护性要求	81
7.4 旅客舱装饰设计	81
7.4.1 旅客舱装饰方案设计	81
7.4.2 色彩设计	85
7.5 照明装饰设计	86
7.5.1 照明形式	86
7.5.2 几种常用光源的特性	88

第8章 民机舱内声学设计要求和规范

8.1 舱内声学设计目标及设计原则	90
8.1.1 设计目标	90
8.1.2 设计原则	90
8.2 舱内主要噪声源	91
8.2.1 发动机动力系统噪声	91
8.2.2 机体结构气动噪声	93
8.2.3 辅助动力装置系统噪声	93
8.2.4 环控设备及管路系统噪声	93
8.2.5 其他机载设备系统噪声	94
8.3 壁板结构声学设计	94
8.3.1 双层壁板降噪结构	94
8.3.2 隔声绝热层的应用	95
8.3.3 隔振器的应用	96
8.3.4 阻尼的应用	97
8.3.5 吸声设计	97
8.3.6 蜂窝刚度壁板结构	98
8.4 环控管道消声器声学设计	98
8.4.1 消声器设计流程和设计要求	98
8.4.2 消声器性能评价及类型	99
8.4.3 消声器设计与计算	102
8.5 主动噪声控制技术	107
8.5.1 主动噪声控制的基本原理	107

8.5.2 主动控制算法	107
8.5.3 主动降噪系统优化设计方案	112
8.5.4 飞机舱内噪声主动控制应用	113
第 9 章 民机声载荷严重部位要求	
9.1 飞机近场噪声环境及其结构的声载荷预计	115
9.1.1 声激励环境预测	115
9.1.2 声载荷	115
9.2 在声载荷作用下的结构设计分析及声疲劳寿命的预计	116
9.2.1 抗声疲劳结构设计	116
9.2.2 声疲劳的分析及寿命预计	118
第 10 章 先进金属材料和先进加工工艺的应用	
10.1 铝锂合金的特点和应用	130
10.1.1 铝锂合金的特点	130
10.1.2 铝锂合金的发展和应用	130
10.1.3 我国铝锂合金的开发及应用	132
10.2 激光焊与搅拌摩擦焊的特点和应用	132
10.2.1 激光焊的特点和应用	132
10.2.2 搅拌摩擦焊的特点和应用	135
第 11 章 金属结构的工艺性	
11.1 影响结构工艺性的主要因素	141
11.2 提高工艺性要求的设计措施	141
11.2.1 选择合理的飞机外形	141
11.2.2 结构的装配工艺性	142
11.2.3 零件的工艺性	146
11.2.4 结构的继承性和规格化	149
第二篇 复合材料结构通用设计准则	
第 12 章 FAA 资讯通报 AC 20-107 典型问题解读	
12.1 复合材料设计许用值与设计值	151
12.1.1 AC 20-107B 有关定义	151
12.1.2 许用值和设计值术语的演变	151
12.2 许用值和设计值的定义范畴	151
12.2.1 许用值	151
12.2.2 设计值	153
12.3 许用值与设计值的关系	153
12.4 许用值和设计值的确定方法	154
12.4.1 许用值的确定方法	154

12.4.2 确定结构设计值的方法	155
12.5 与结构设计有关材料许用值试验方案	157
12.5.1 建议的典型层压板类型	157
12.5.2 试验矩阵和试验要求	158
12.5.3 建议采用的试验方法	161
12.5.4 试样状态调节方法	163
12.5.5 冲击能量确定方法的建议	165
12.5.6 含缺口试样拉伸与压缩强度估算方法	165
12.6 CAI(冲击后压缩强度)	168
12.6.1 CAI的由来和演变	168
12.6.2 空客公司CAI的确定方法	169
12.7 环境影响(结构胶接和结构防护)	169
12.7.1 结构胶接	169
12.7.2 结构防护	170
第13章 复合材料层合板结构铺层设计	
13.1 复合材料层合板结构的铺层设计准则	171
13.1.1 层合板与层合结构	171
13.1.2 层合结构设计原则	172
13.2 复合材料基体与纤维的比例对性能的影响	178
13.3 复合材料层合板结构工艺成型	179
13.3.1 层合结构件工艺性考虑	179
13.3.2 连接部位设计工艺性考虑	180
13.3.3 成型工艺对零件结构形状的要求	180
第14章 复合材料夹层结构设计准则	
14.1 复合材料夹层结构的面板、芯子、胶粘剂的选择标准	184
14.1.1 面板选择	184
14.1.2 芯子选择	184
14.1.3 胶粘剂选择	186
14.2 复合材料夹层结构的边缘闭合设计	187
14.2.1 边缘闭合设计	187
14.2.2 参考设计案例	188
第15章 复合材料机械连接	
15.1 复合材料机械连接概述	190
15.2 复合材料机械连接设计基础	191
15.2.1 机械连接载荷和破坏模式	191
15.2.2 机械连接几何参数的定义及选择	193
15.2.3 机械连接形式及选择	193
15.2.4 紧固件的选用及对拧紧力矩的要求	194
15.2.5 连接区的铺层设计	196

15.2.6 影响复合材料机械连接强度的主要因素	196
第 16 章 复合材料零件受环境的影响以及防护	
16.1 气候环境的影响	203
16.1.1 湿热环境	203
16.1.2 老化环境	205
16.1.3 冲击环境	206
16.1.4 海洋环境	207
16.2 雷 击	207
16.3 电化学腐蚀	209
16.4 其他环境影响	210
第 17 章 复合材料零件损伤检测和结构修理	
17.1 复合材料缺陷和损伤	211
17.2 复合材料损伤检测	211
17.3 材质检验	217
17.4 断口观察分析	218
17.5 复合材料损伤修理	218
17.5.1 复合材料修理要求和设计原则	218
17.5.2 复合材料修理特点	219
17.5.3 复合材料修理方法	219
17.6 复合材料结构常见损伤修理	227
17.6.1 层压结构常见损伤修理	227
17.6.2 夹层结构常见损伤修理	228
17.6.3 结构损伤修理程序	231
第 18 章 热塑性复合材料和热塑性复合材料焊接的应用	
18.1 热塑性复合材料的特点	233
18.2 热塑性复合材料的应用	234
18.3 热塑性复合材料焊接的特点和应用	236
18.3.1 超声波焊接	236
18.3.2 电阻焊	237
18.3.3 感应焊	237
18.3.4 热板焊接	238
18.3.5 激光焊接	238
18.3.6 红外焊接	238
第 19 章 先进纤维金属层板的特点和应用	
19.1 纤维金属层板材料分类	240
19.1.1 ARALL	241
19.1.2 CARALL	241
19.1.3 GLARE	241

19.2 纤维金属层板材料特点	242
19.2.1 GLARE 层板的基本力学性能	243
19.2.2 GLARE 层板的冲击性能	244
19.2.3 GLARE 层板的挤压性能	245
19.2.4 GLARE 层板的疲劳性能	245
19.2.5 GLARE 层板的缺口剩余强度	246
19.2.6 GLARE 层板的环境耐久性	246
19.2.7 GLARE 层板的检测和修理	247
19.3 纤维金属层板材料应用	247

第三篇 机身结构设计

第20章 隔框、长桁及蒙皮设计

20.1 长桁的连接设计	249
20.1.1 长桁的布置	249
20.1.2 长桁设计的几种典型形式	249
20.1.3 长桁的组合形式	251
20.1.4 长桁的连接设计	252
20.2 隔框的布置	261
20.2.1 普通隔框在机身中的布置	261
20.2.2 加强框布置	262
20.3 隔框的设计	262
20.3.1 隔框的功能及特点	262
20.3.2 承压加强隔框	265
20.3.3 复合材料框的设计	267
20.3.4 复合材料框与壁板的连接设计	269
20.3.5 复合材料框对接设计	269
20.4 复合材料蒙皮、长桁、框的结构及形式	270
20.4.1 复合材料在飞机结构设计中的重要性	270
20.4.2 某预研商用飞机复合材料机身结构布置及结构形式	271
20.4.3 等直段主要结构件设计	277

第21章 机身开口及加强设计

21.1 梁腹板上的开口	280
21.1.1 小开口	280
21.1.2 中等开口	280
21.1.3 大开口	281
21.2 机身上的舱门开口	285
21.2.1 确定开口尺寸的几点考虑	285
21.2.2 情况Ⅰ:机身蒙皮剪切——各种飞行条件	288
21.2.3 情况Ⅱ:截断桁条载荷——各种飞行条件	292

21.2.4 情况Ⅲ:纵向和周向拉伸载荷——座舱增压条件	292
21.2.5 情况Ⅳ:插塞压力和门销座的再分布效应	296
21.2.6 复合材料机身登机门框加强结构	297
21.2.7 复合材料机身窗框加强结构	298

第 22 章 机身舱门设计

22.1 货舱门设计	301
22.1.1 货舱门结构组成	301
22.1.2 结构设计初步计算	302
22.2 起落架舱门设计	303
22.2.1 典型民机起落架舱门示例 1	303
22.2.2 典型民机起落架舱门示例 2	303
22.3 舱门开启机构设计	305
22.3.1 舱门机构的设计准则	305
22.3.2 机构设计	305

第四篇 机翼结构设计

第 23 章 机翼翼盒设计

23.1 机翼蒙皮与壁板的设计	311
23.1.1 概 况	311
23.1.2 壁板的受载情况	312
23.1.3 壁板分类	312
23.1.4 壁板分块	314
23.1.5 蒙皮分类	315
23.1.6 蒙皮厚度设计	317
23.2 长桁设计	317
23.2.1 概 况	317
23.2.2 长桁的剖面形状	318
23.2.3 长桁的布置	318
23.2.4 长桁的连接	319
23.3 翼梁设计	320
23.3.1 概 况	320
23.3.2 翼梁的受载情况	320
23.3.3 翼梁布置	321
23.3.4 翼梁典型结构形式	321
23.4 翼肋设计	322
23.4.1 翼肋受载	322
23.4.2 分 类	323
23.4.3 顺气流航向布局	324
23.4.4 正交布局	324

23.5 油箱设计	325
23.5.1 油箱布局	325
23.5.2 油箱密封设计	325
第24章 机翼与起落架和机身的连接设计	
24.1 机翼与起落架的连接设计	329
24.1.1 主起落架连接结构形式	329
24.1.2 主起落架连接结构设计要点	336
24.2 机翼与机身的连接设计	338
24.2.1 机翼与机身的连接形式	338
24.2.2 典型翼身连接结构	339
第25章 机翼前缘与后缘结构设计	
25.1 前缘结构设计	342
25.1.1 固定前缘结构	342
25.1.2 缝翼	344
25.2 襟翼结构设计	349
25.2.1 襟翼的布置	349
25.2.2 襟翼的形式	349
25.2.3 襟翼结构	351
25.2.4 襟翼导轨	352
25.3 副翼结构设计	353
25.3.1 副翼布置	353
25.3.2 副翼结构	353
25.3.3 副翼铰链	355
25.4 扰流板结构设计	355
25.4.1 扰流板布置	355
25.4.2 扰流板结构	357
25.4.3 扰流板铰链	357

第五篇 飞机尾翼结构设计

第26章 尾翼结构设计要求

26.1 概 况	359
26.2 通用要求	359
26.2.1 适航要求	359
26.2.2 总体要求	359
26.3 结构设计规范	359
26.3.1 复合材料	359
26.3.2 闪电防护	359
26.3.3 静电防护	360