



国防特色教材·航空宇航科学与技术

飞行器制造技术基础

FEIXINGQI ZHIZAO JISHU JICHU

——○ 陈文亮 安鲁陵 主编 ○——

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材 · 航空宇航科学与技术

014035867

V47
35

飞行器制造技术基础

陈文亮 安鲁陵 主编



北京航空航天大学出版社

V47/35

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社



北航

C1723209

内 容 简 介

由于飞机产品的特殊性,飞机制造与一般的机械制造有着明显的不同。本书从飞机产品制造所涉及工艺方法的角度,全面介绍飞机制造的整个过程,以满足飞行器制造工程专业教学的需要。

全书共分7章。第1章简要介绍飞机结构的特点、飞机机体结构、飞机制造工艺及其特点等;第2章在介绍飞机制造中互换与协调基本概念的基础上,主要介绍基于模拟量传递的互换协调方法和基于数字量传递的互换协调方法;第3章主要介绍飞机钣金零件成形技术,包括飞机蒙皮类零件的制造、飞机骨架类零件的制造、飞机复杂钣金零件的制造和飞机钣金零件制造新技术;第4章主要介绍飞机整体结构件制造技术,包括整体壁板类零件的制造,框肋类零件的加工,以及整体梁、骨架和接头类零件的加工等;第5章主要介绍飞机复合材料构件制造技术,包括复合材料预浸料的制造、复合材料构件成形方法和成形模具等;第6章主要介绍飞机部件装配,包括飞机装配准确度要求,飞机装配中的定位、夹紧与连接,飞机部件装配工作和飞机部件装配新技术;第7章主要介绍飞机总装配及机场工作,包括飞机部件对接及水平测量,飞机导管、电缆的安装与试验,飞机系统的安装、调整和测试以及机场车间工作等。

本书除可作为高等工科院校飞行器制造工程专业本科教材外,也可供从事飞机设计和制造等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞行器制造技术基础 / 陈文亮, 安鲁陵主编. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-5124-1322-1

I. ①飞… II. ①陈… ②安… III. ①飞行器—制造
IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 289467 号

版权所有,侵权必究。

飞行器制造技术基础

陈文亮 安鲁陵 主编
责任编辑 刘晓明

*

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:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316524

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:13.75 字数:308 千字

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷 印数:1 500 册

ISBN 978-7-5124-1322-1 定价:45.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

飞行器包括航空器、航天器、火箭和导弹等,各种飞行器构造不同、要求各异。飞机在现代飞行器中最具代表性,与一般的机械产品相比,其结构和制造工艺有很大的不同。一架大型飞机有十万多个零件,数百万个铆钉、螺栓等连接件,成百台电动机,数百只各种仪表和数百米各种管道;飞机零部件形状和结构复杂,尺寸大、刚度小;飞机的装配质量要求高,有更高的性能和可靠性要求。飞机产品的这些特点决定了飞机制造工艺有它的特殊性。

飞机制造工艺的特殊性,首先表现在它具有非常复杂而完善的互换协调理论和技术,并贯穿于制造过程的始终。飞机装配过程中的协调和变形问题比其他任何机械产品都要复杂。其次,飞机机体由大量钣金零件组成,其形状复杂,成形工艺非常特殊,飞机的整体结构制造和复合材料成形技术也很有特点。飞机装配是最能体现飞机制造特殊性的环节。飞机装配过程采用了大量的型架等特殊工艺装备,飞机的疲劳性能要求特别高,对装配连接工艺提出了严苛的要求;同时,飞机生产过程中,多品种、小批量和改型频繁的特点,决定了飞机制造和装配工艺与汽车等大批量生产的产品有显著的区别。

长期以来,飞机制造采用以模拟量传递为核心的零件制造和装配协调体系。近年来,随着信息化技术的普及和深化应用,我国飞机制造技术正在发生着革命性的变革,以数字量传递为核心的数字化设计、制造技术正在深刻地改变着传统的飞机制造模式,飞机制造工艺的特殊性有了新的表现形式。

在飞行器制造工程专业的教学实践过程中,由于一直缺少一本全面介绍飞机制造整个过程的教材,飞行器制造工程专业的学生难以获得飞机制造过程的宏观认识。作者围绕飞行器制造工程专业课程体系改革,结合多年的教学实践,认为设置一门“飞行器制造技术基础”的课程十分必要,为此,南京航空航天大学飞行器制造工程专业进行了多年的尝试,编写了相关的讲义用于该课程的教学,取得了良好的效果。在此基础上,作者还广泛听取了北京航空航天大学、西北工业大学飞行器制造工程专业的老师以及航空制造企业技术人员的意见和建议,编写了这本教材,以满足飞行器制造工程专业教学的需要。

本书第1章由卫炜编写,第2章由陈明和编写,第3章由翟建军、鲁世红、金霞

编写,第4章由王珉编写,第5章由安鲁陵编写,第6章由陈文亮编写,第7章由安鲁陵编写。另外,郭宇、徐岩、王志国、闫崇京等为本书的编写做了许多工作。在本书的编写过程中,张麟教授和王俊彪教授对本书的内容提出了很好的意见和建议,并对本书进行了仔细的审核。在此,对各位老师的辛勤劳动表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加上近年来飞机制造技术的发展突飞猛进,文中一定有很多不恰当之处,错误也在所难免,恳请广大读者批评指正,以便在以后的版本中加以改进。

作者

2014年1月

目 录

第 1 章 飞机结构及其制造工艺特点	1
1.1 概 述	1
1.2 飞机的组成及对飞机的特殊要求	1
1.3 飞机机体结构	3
1.3.1 机 翼	3
1.3.2 机 身	10
1.3.3 尾 翼	13
1.3.4 起落架	15
1.4 飞机结构的特点	17
1.5 飞机制造工艺及其特点	19
1.5.1 飞机制造工艺方法	19
1.5.2 飞机制造工艺特点	20
1.6 新结构、新材料在飞机上的应用	21
1.6.1 整体结构件在飞机上的应用	21
1.6.2 新材料在飞机上的应用	22
思考题与习题	23
第 2 章 飞机制造中的互换与协调	24
2.1 概 述	24
2.1.1 互换与协调的定义	24
2.1.2 飞机制造中的互换要求	25
2.1.3 飞机的制造准确度和协调准确度	25
2.1.4 飞机制造协调原理	26
2.1.5 典型协调原则及应用	27
2.2 基于模拟量传递的互换协调方法	33
2.2.1 模 线	33
2.2.2 互换协调的生产用基本工艺装备	35
2.2.3 常用的互换协调工作方法	39
2.2.4 模线样板-标准样件协调方法	40

2.2.5	模线样板-局部标准样件协调方法	41
2.2.6	飞机制造中的典型协调路线	42
2.3	基于数字量传递的互换协调方法	43
2.3.1	数字量传递的协调方法	43
2.3.2	飞机数字样机的制造及协调特点	44
2.3.3	数字量尺寸传递体系	45
2.3.4	数字量传递的工艺协调技术	47
	思考题与习题	49
第3章	飞机钣金零件成形技术	50
3.1	概述	50
3.1.1	飞机钣金零件的特点	50
3.1.2	飞机钣金零件的分类及成形技术	51
3.2	飞机蒙皮类零件的制造	56
3.2.1	蒙皮零件的特点及成形方法	56
3.2.2	单曲度蒙皮零件的制造	57
3.2.3	双曲度蒙皮零件的制造	59
3.3	飞机骨架类零件的制造	62
3.3.1	骨架类零件的特点及成形方法	62
3.3.2	框肋零件的制造	63
3.3.3	型材零件的制造	66
3.4	飞机复杂钣金零件的制造	71
3.4.1	零件的特点及成形方法	71
3.4.2	回转体零件的制造	73
3.4.3	落压成形过程及特点	80
3.5	飞机钣金零件制造的新技术	82
3.5.1	电磁成形	82
3.5.2	激光成形	84
3.5.3	蠕变成形和应力松弛成(校)形	87
3.5.4	喷丸成形	90
3.5.5	热成形与超塑性成形	93
	思考题与习题	98

第4章 飞机结构件切削加工技术	99
4.1 概 述	99
4.1.1 整体结构件的工艺特点及加工方法	100
4.1.2 整体结构件的常用材料及切削加工	101
4.2 整体壁板类零件的制造	104
4.2.1 整体壁板的分类	105
4.2.2 整体壁板的典型制造方案	107
4.2.3 整体壁板的毛坯供应	108
4.2.4 整体壁板的切削加工	108
4.2.5 整体壁板的化学铣切	109
4.2.6 整体壁板的成形	110
4.3 框肋类零件的加工	111
4.3.1 框肋类零件的特点	112
4.3.2 整体框肋的切削加工	112
4.3.3 框肋类零件加工变形控制	113
4.4 整体梁、骨架和接头类零件的加工	114
4.4.1 整体梁、骨架和接头类零件的结构与特点	114
4.4.2 整体梁、骨架和接头的切削加工	116
4.4.3 加工变形的控制	117
思考题与习题	119
第5章 飞机复合材料构件制造技术	120
5.1 概 述	120
5.1.1 复合材料的定义及分类	120
5.1.2 复合材料的组成部分	120
5.1.3 复合材料的特性	124
5.1.4 复合材料在飞机上的应用	125
5.1.5 飞机复合材料的结构及工艺特点	127
5.2 复合材料构件制造方法	129
5.2.1 手糊成形	129
5.2.2 袋压成形	131
5.2.3 热压罐成形	132
5.2.4 模压成形	135

5.2.5	液体成形	136
5.2.6	缠绕与铺放成形	138
5.3	飞机复合材料整体构件制造技术	142
5.3.1	共固化成形工艺及特点	142
5.3.2	共固化法制造蜂窝夹层结构件	144
5.3.3	共固化法制造波形胶板梁	146
5.3.4	共固化法制造平尾后段件	147
	思考题与习题	148
第6章	飞机部件装配	150
6.1	概 述	150
6.1.1	飞机部件装配的特点	150
6.1.2	飞机部件装配的内容	151
6.1.3	飞机部件装配应遵循的原则	151
6.1.4	飞机部件划分和装配工艺过程设计	153
6.2	飞机装配准确度要求	159
6.2.1	部件气动力外形准确度	160
6.2.2	部件相对位置准确度	160
6.2.3	部件内部组合件和零件位置准确度	161
6.2.4	部件之间接头配合准确度	161
6.2.5	其他准确度	162
6.3	飞机装配中的定位、夹紧与连接	162
6.3.1	装配工艺基准	162
6.3.2	定位形式和定位基准的选择	165
6.3.3	飞机装配中的定位与夹紧	166
6.3.4	飞机装配的连接技术	170
6.4	飞机部件装配工作	184
6.4.1	组合件、板件装配工作	185
6.4.2	段件、部件装配工作	187
6.5	飞机部件自动化装配技术	190
	思考题与习题	193
第7章	飞机总装配	194
7.1	概 述	194

7.1.1 飞机总装配的工作内容	194
7.1.2 飞机总装配工作的特点及对策	195
7.1.3 飞机总装配的工作过程	196
7.2 飞机部件对接及水平测量	198
7.2.1 飞机部件对接	198
7.2.2 飞机部件水平测量	199
7.3 飞机导管、电缆的安装与试验	201
7.3.1 飞机导管的安装与试验	201
7.3.2 飞机电缆的制造与检测	203
7.4 飞机系统的安装、调整与测试	204
7.4.1 对装机系统元件的要求	204
7.4.2 操纵系统的安装调整与试验	205
7.4.3 电气和通信系统的安装	206
7.5 试验与试飞	206
思考题与习题	207
参考文献	208

第1章 飞机结构及其制造工艺特点

1.1 概 述

飞行器(aerospace vehicle 或 flying machine)是指能在地球大气层内或大气层外空间飞行的器械,包括航空器(如飞机)、航天器(如太空航天飞机)、火箭和导弹等。

航空器包括气球、飞艇、飞机、滑翔机、直升机、旋翼机、扑翼机、倾转旋翼机等。航空器是在大气层内飞行的飞行器,依靠空气的静浮力或与空气进行相对运动时产生的空气动力升空飞行。

航天器包括人造地球卫星、空间探测器、载人飞船、空间站、航天飞机、空天飞机等。航天器是在大气层外空间飞行的飞行器,通过火箭等运载工具获得必要的速度进入大气层外空间后,在引力的作用下进行近似天体的轨道运动。

火箭和导弹可以在大气层内外飞行,动力装置和飞行范围接近航天器。火箭以火箭发动机为动力升空,导弹是基于火箭技术的飞行武器。

各种飞行器构造不同,要求各异,一一道来,几无可能。本书拟以使用最广泛、最具有代表性的航空器——飞机为例,力求较系统地介绍飞行器制造技术基础部分的基本内容,以利于读者“举一反三”。

1.2 飞机的组成及对飞机的特殊要求

飞机主要包括机体结构、动力装置(发动机)和机载设备(如雷达)等。机体结构保证飞机的气动外形,并将飞机各个部分连接成一个整体;动力装置作为其动力来源,使机翼产生升力,并保证飞机克服空气阻力向前飞行;机载设备作为飞机的指挥中枢,用于控制和协调各部件的工作。如图1-1所示为空客A320客机的主要组成部分。

由于使用目的不同,飞机结构和一般的机械结构相比,具有自身的特殊要求。这些要求可以概括为:气动要求、结构完整性要求、最小质量要求、使用维护要求、工艺性要求、材料要求。

① 当飞机结构与气动外形有关时,应保证构造外形满足总体设计规定的外形准确度,不允许机翼、尾翼、机身结构有过大变形,以保证飞机具有良好的气动升力、阻力特性以及良好的稳定性和操纵性。飞机的机翼、尾翼和机身等部件的几何外形参数与飞机的总体性能密切相关。机翼翼型及其在机翼上的配置情况,对气动特性影响极大。机身作为飞机机体结构中构造最复杂的一个部件,在选择机身几何参数、确定机身外形时,必须综合考虑,使其内部容积足

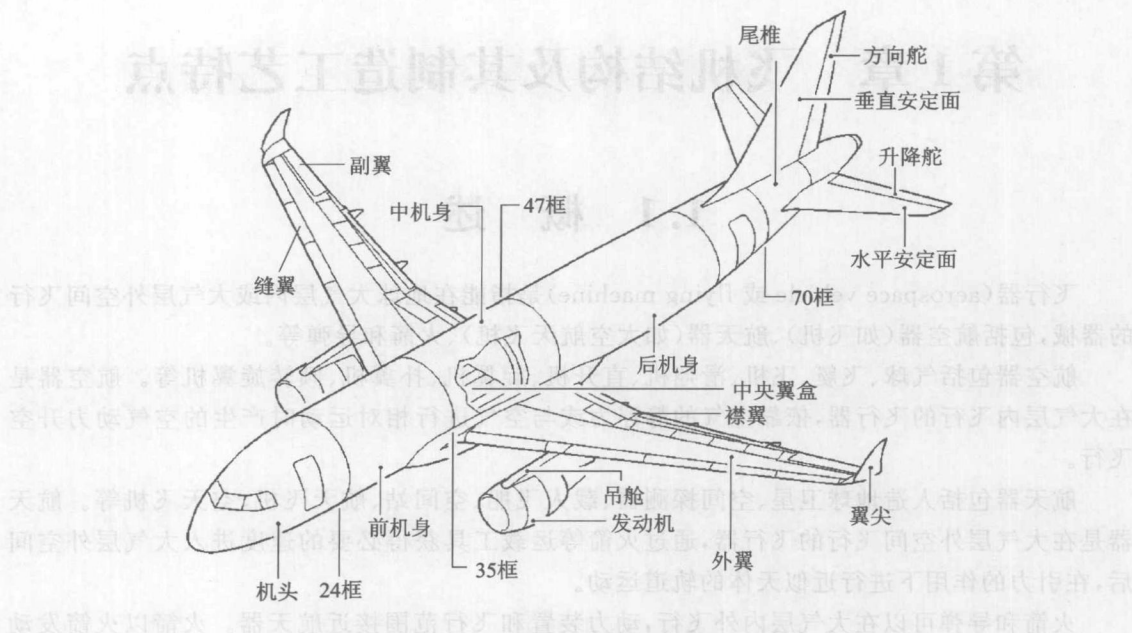


图 1-1 空客 A320 客机的组成

够大、气动阻力最小、有利于进行结构布置等。

② 飞机结构完整性是确保飞机安全寿命和高可靠性的重要条件之一，它主要包括机体结构的强度、刚度、损伤容限及耐久性(疲劳安全寿命)等设计指标，保证结构在承受各种规定的载荷状态下，具有足够的强度，不产生不能允许的残余变形；具有足够的刚度，以避免出现不能允许的气动弹性现象与共振现象。

③ 飞机结构质量显著影响飞机性能的优劣。在满足飞机的空气动力要求和结构完整性的前提下，应使结构的质量尽可能轻，这意味着有效载荷、飞行速度和飞行距离的增加。合理的结构布局是减轻结构质量最主要的环节。

④ 飞机的使用维护品质是衡量飞机性能的一项重要技术指标，良好的维修性意味着维护成本低，或者无故障的飞行时间更长，意味着飞机的经济性更好。飞机在结构上必须按照维修方式(定检、小修、中修)来合理确定检查口盖的位置、数量及种类。同时，飞机良好的维修性也体现在结构上需要布置合理的分离面与各种舱口，在结构内部安排必要的检查和维修通道，增加结构的开敞性和可达性等。

⑤ 要求飞机结构有良好的工艺性，便于加工、装配。这对飞机来说意义重大。因为飞机零件数量多，多采用薄壁结构，开敞性差，形状和结构复杂，尺寸大而刚度小，所以使得飞机制造困难，手工劳动量大。

⑥ 在保证结构具有足够的刚度、强度及抗疲劳特性的情况下，为了满足结构质量的要求，

大量采用铝合金、镁铝合金、钛合金等比强度高的金属材料。随着飞机性能的逐步提高,对飞机的要求也越来越高,复合材料在飞机结构中的应用日益广泛。在第四代战斗机F-22上,复合材料用量约占飞机结构质量的40%,在787干线客机上的复合材料用量已达到50%。

1.3 飞机机体结构

1.3.1 机翼

机翼的主要功用是产生升力,以支持飞机在空中飞行,同时也起到一定的稳定和操作作用;机翼还可以存储燃油。机翼作为飞机的主要气动面,是主要的承受气动载荷的部件。它一般由机翼主盒、襟翼、扰流片、副翼、缝翼、发动机吊挂等部分组成,如图1-2所示。其中副翼和扰流片用于机翼的横向操纵。副翼是安装在机翼翼梢后缘外侧的可动的翼面,为飞机的主操作舵面,飞行员操纵左右副翼差动偏转所产生的滚转力矩,可以使飞机作平衡的横滚机动。襟翼和缝翼用于增加升力或改变机翼升力的分布:襟翼是安装在机翼后缘内侧的翼面,可绕轴向后下方偏转,依靠增大机翼的弯度来获得升力增加;缝翼一般位于机翼前缘,打开时,既增大机翼面积,又增大翼型弯度,可达到较好的增升效果。

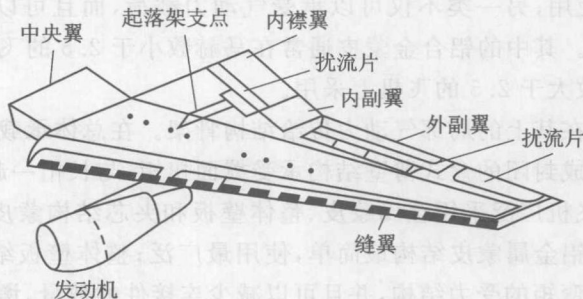


图1-2 机翼布置

机翼质量一般占全机质量的8%~15%,机翼结构质量占机翼质量的30%~50%。机翼通常有以下气动布局形式:平直翼、梯形翼、三角翼、后掠翼、边条翼、前掠翼、变后掠翼和菱形翼等。机翼的几何参数主要有翼展(机翼左右翼尖之间的长度);翼弦(机翼沿机身方向的弦长);展弦比(翼展和平均几何弦长的比值,同时,展弦比也可以表示为翼展的平方与机翼面积的比值;展弦比越大,机翼的升力系数越大,但阻力也增大,因此,高速飞机一般采用小展弦比的机翼);后掠角(机翼与机身轴线的垂线之间的夹角,包括前缘后掠角、后缘后掠角及1/4弦线后掠角);根梢比(翼根弦长与翼尖弦长的比值);相对厚度(机翼翼型的最大厚度与翼弦长的

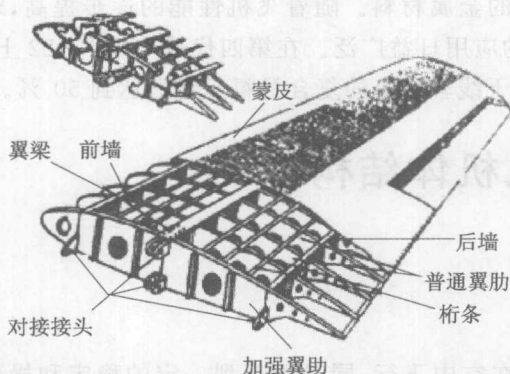


图 1-3 翼面的典型结构构件

形构件,用铆钉或粘接剂固定于骨架上,形成机翼的气动力外形。这些构件的基本功用是形成和保持翼面外形,承受和传递外载荷。

(1) 蒙皮

蒙皮的主要功用是保持机翼气动外形,承受并传递局部气动力。根据参与受力的程度,蒙皮可分两类:一类只能承受气动力载荷(吸力或压力),有布质蒙皮、层板蒙皮和薄金属板蒙皮,早期的低速飞机广泛使用;另一类不仅可以承受气动力载荷,而且可以在不同程度上承受弯曲、剪切和扭转等载荷。其中的铝合金蒙皮通常在马赫数小于 2.5 的飞机上采用,钛合金蒙皮通常在高温区和马赫数大于 2.5 的飞机上采用。

通常,蒙皮将作用在其上的局部气动力传给结构骨架。在总体承载时,蒙皮和翼梁或翼墙的腹板组合在一起,形成封闭的盒式薄壁结构承受翼面扭矩,与长桁一起形成壁板承受翼面弯矩引起的轴力。现代飞机广泛采用金属蒙皮、整体壁板和夹芯结构蒙皮、复合材料蒙皮等,如图 1-4 所示。其中硬铝金属蒙皮结构最简单,使用最广泛;整体壁板结构形式的蒙皮是最主要、甚至是唯一的承受弯矩的受力结构,并且可以减少连接件的数量,增加结构的抗疲劳寿命,提高整体油箱的密封性,在保证足够强度和刚度的条件下获得质量较轻的光滑翼面;夹芯蒙皮通常由两层薄金属板或复合材料层板与轻质疏松或蜂窝结构夹芯互相结合而成,可以减轻翼面结构质量,提高翼面刚度和表面品质(无铆缝),并具有良好的隔热、隔音、防振、抵抗裂纹及其他损伤扩展的能力;复合材料蒙皮由于高强质轻、抗疲劳能力强,而得到越来越广泛的应用。

(2) 桁条

桁条(也称长桁)是纵向较为细长的杆件,与蒙皮相连,对蒙皮起支持作用,一般还与翼肋相连,受翼肋支持。桁条是纵向骨架中的重要受力构件之一,承受翼面弯矩引起的轴向力和局部气动力引起的剪力,这些力的大小取决于翼面的结构形式并决定桁条横截面的形状和面积。

桁条按截面形状分为开式和闭式截面,按制造方法分为板弯桁条和挤压桁条,如图 1-5

比值)等。

1. 机翼结构的组成

机翼结构属薄壁型结构形式,构造上主要由蒙皮、骨架结构和接头组成,如图 1-3 所示。

其中,接头的作用是将机翼上的载荷传递到机身上。骨架结构分为纵向构件和横向构件。所谓纵向是指沿翼展方向,横向是指垂直于翼展方向。纵向构件包括翼梁、长桁和墙(腹板),横向构件包括普通肋和加强肋。蒙皮是包围在机翼骨架外的维

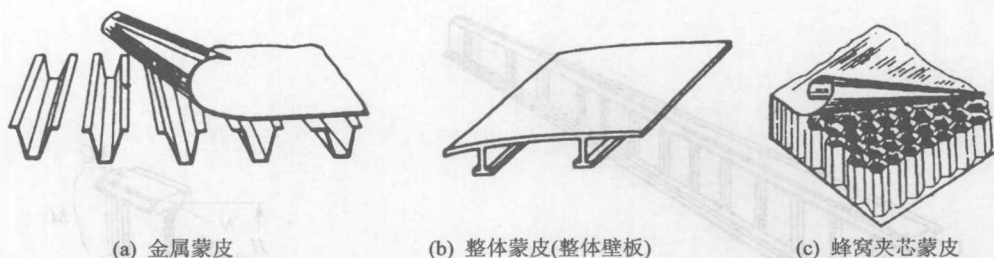


图 1-4 蒙 皮

所示。板弯开式型材由板材制造,容易弯曲,与蒙皮贴合好,得到的翼面光滑,容易与蒙皮及其他构件固接。板弯的闭式型材,如图 1-5(a)中的 6、7 所示,可提高型材和蒙皮压缩临界应力。挤压型材通常比板弯型材具有较厚的腹板,在其他条件相同的情况下,它们的受力临界应力较高,但与蒙皮(特别是弯度大的蒙皮)难以固接。

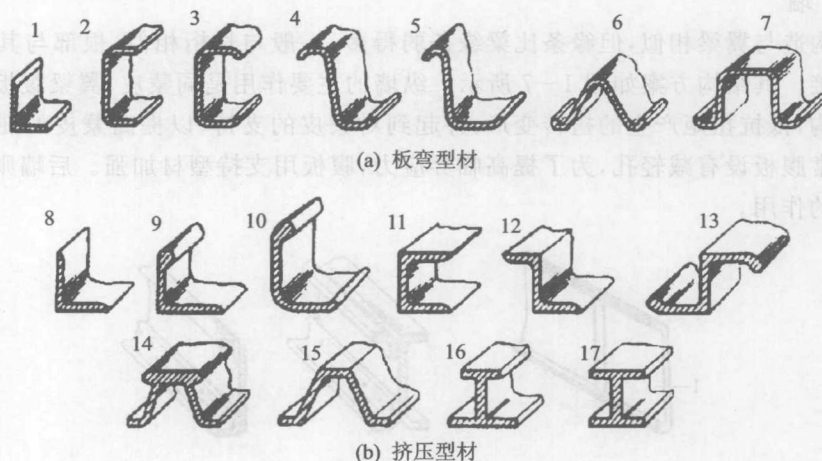
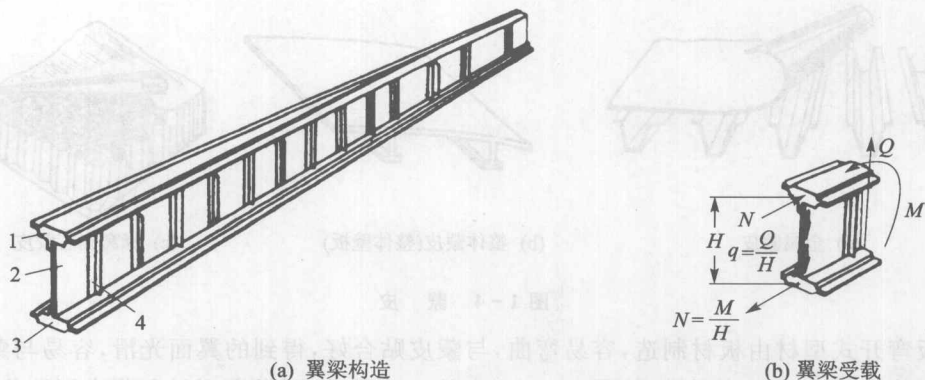


图 1-5 桁条的标准型材

(3) 翼 梁

翼梁是由缘条、腹板和支柱组成的铆接梁,大多在根部与中翼段或机身固接,组成机翼的受力盒段,承受机翼总体载荷、发动机吊挂的集中载荷及燃油的重力。如图 1-6 所示,翼梁缘条由角形和 T 形截面的挤压型材制成,翼梁腹板通常由薄板经过化学铣切制成,由 Z 形和角形截面的挤压型材制成的支柱加强。翼梁是单纯的受力件,缘条承受由弯矩 M 引起的拉压轴力。由支柱加固的腹板承受剪力 Q 并能承受由扭矩 M_t 引起的剪流,使翼面周边形成闭室并在这两种情况下受剪。在有的结构形式中,它是翼面主要的纵向受力件,承受翼面全部或大部分弯矩。

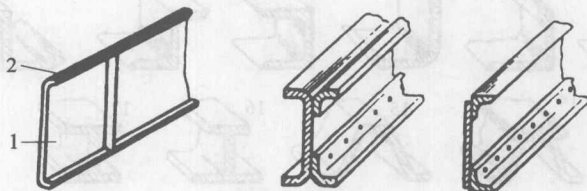


1—上缘条;2—腹板;3—下缘条;4—支柱

图 1-6 翼梁

(4) 纵 墙

纵墙的构造与翼梁相似,但缘条比梁缘条弱得多,一般与长桁相似,根部与其他部分的连接方式为铰接。其结构方案如图 1-7 所示。纵墙的主要作用是同蒙皮、翼梁腹板一起构成封闭的盒式结构,抵抗扭矩产生的扭转变形,并起到对蒙皮的支持,以提高蒙皮的屈曲承载能力的作用。通常腹板设有减轻孔,为了提高临界应力,腹板用支持型材加强。后墙则还有封闭翼面内部容积的作用。



1—腹板;2—弱缘条

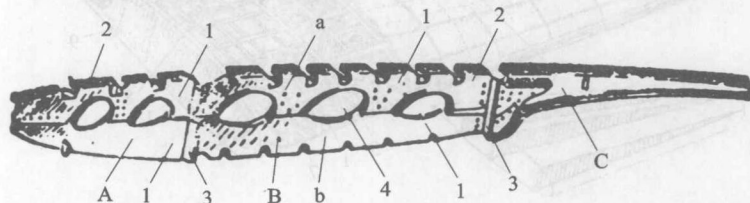
图 1-7 纵 墙

(5) 翼 肋

翼肋由缘条、腹板和加强支柱组成,缘条由角形、T 形或混合型的挤压型材制造,肋腹板由光滑的或经过化学铣切的薄铝板制成,加强支柱则是由 Z 形、T 形或角形截面的挤压型材加工而成。翼肋分为普通翼肋和加强翼肋,按照不同的功能,翼肋又可被划分为 4 类:

- ① 承力翼肋,承受集中载荷;
- ② 隔板翼肋,燃油箱或油箱段的壁,即把机翼盒段分割成油箱的翼肋;
- ③ 防晃动翼肋,用于承受燃油顺翼展方向移动的惯性载荷;
- ④ 标准翼肋,承受并传递从壁板到翼梁的载荷,支持壁板,维持机翼形状。

普通翼肋构造上的功用是维持机翼剖面所需的形状,并将局部气动载荷从蒙皮和桁条传递到翼梁和蒙皮上,如图1-8所示。一般它与蒙皮、长桁相连,当翼面受气动载荷时,它以自身平面内的刚度向蒙皮、长桁提供垂直方向的支持。同时,翼肋又沿周边支持在蒙皮和梁(或墙)的腹板上,当翼肋受载时,由蒙皮、腹板向翼肋提供各自平面内的支承剪流。

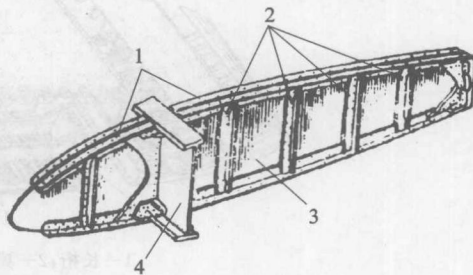


1—腹板;2—周缘弯边;3—与腹板连接的弯边;4—减轻孔;

A—前段;B—中段;C—后段;a—上部分;b—下部分

图1-8 腹板式翼肋

加强翼肋除起普通翼肋的作用外,主要是用于承受固定在翼面上的部件(起落架、发动机、副翼及翼面其他活动部分悬挂接头)的集中力和力矩,并将它们转化为分散力传给蒙皮和翼梁、纵墙的腹板。结构不连续的地方也要布置加强肋,用于重新分配在纵向构件轴线转折处壁板和腹板之间的力,或在翼面结合处和大开口边界上将扭矩转变为力偶。加强肋有很大的横截面积,挤压型材制成的缘条、腹板不开口,用支撑角材加强,翼肋上的桁条重新对接,不需要切断翼肋缘条,如图1-9所示。有时这样的翼肋由锻件制造,或采用桁架式结构。



1—缘条;2—支柱;3—腹板;4—翼梁

图1-9 带支柱的腹板式加强翼肋

机翼的特点是薄壁结构,以上各构件之间的连接大多采用分散连接,如铆接、螺接、点焊、胶接或它们的混合形式,如胶铆等。

2. 机翼结构形式

机翼结构形式是指结构中主承力系统的组成形式。主承力系统由承受作用在机翼上的力和力矩的构件组成,通常按照强度设计的要求选择机翼结构形式。根据主要抗弯构件的不同,典型的受力形式有蒙皮骨架式、整体壁板式和夹层结构。

蒙皮骨架式即薄壁结构形式,可分为双梁式(见图1-10)、单块式(见图1-11)和多墙式(见图1-12)三种结构形式。