

航空类专业职业教育系列教材



简明飞机飞行原理

丘宏俊◎编著

西北工业大学出版社

航空类专业职业教育系列教材

简明飞机飞行原理

丘宏俊 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书采用通俗易懂的语言,紧扣飞机基本飞行原理这个主题,简单介绍了飞机的主要构成及功用,飞机飞行环境;以飞机机翼为基础,重点阐述了飞机的低速空气动力,飞机的平衡、稳定和操纵,飞机的基本飞行和飞机的高速空气动力,简述了飞机的机动飞行和特殊飞行;同时,还分析了螺旋桨飞机空气动力,直升机飞行原理和飞机载重平衡等相关飞行知识。

本书系统性强、结构合理,通过阅读本书可以比较全面地了解飞机的基本飞行原理。

本书可作为航空院校飞机设计、飞机制造、飞机维修、航空运输、空中交通管制等专业飞行原理、飞行技术课程的教材或参考书,也可以作为飞行员培训的基础培训材料,还可以作为广大青少年和航空爱好者的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

简明飞机飞行原理/丘宏俊编著. —西安:西北工业大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5612-4056-4

I. ①简… II. ①丘… III. ①飞机—飞行—理论 IV. ①V323.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 179444 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:16.375

字 数:396 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

前 言

随着中国经济的发展和科技的进步,我国的航空工业正处于蓬勃发展时期,近几年我国新飞机的研制,新型号的出现,都体现了我国航空工业的发展与进步。随着国民经济的发展,我国的民航事业将迎来更快的发展期,中国正在从民航大国向民航强国迈进。随着我国低空领域的开放,今后将会有越来越多的通用飞机,需要越来越多的人参加飞行员的培训,考取飞机驾驶执照。这一切都表明,中国今后将需要、也会有越来越多的航空从业人员。

航空从业人员或多或少都需要学习和了解飞机飞行原理,但这其中的多数人并不需要成为空气动力学方面的专家。传统空气动力学方面的知识深奥难懂,并不适合作为基本飞行原理的教材和参考读物。基于这样的背景,我们编写了《简明飞机飞行原理》一书,旨在系统而全面地阐述飞机的基本飞行原理。

确切地说,本书所介绍的飞机飞行原理应该是指重于空气航空器的飞行原理。它们需要靠空气动力才能实现飞行,因而研究的是空气动力飞行原理,所研究的对象包括固定翼飞机和直升机,不包括热气球、火箭、导弹等其他飞行器。其中最主要的是固定翼飞机的飞行原理。在写作过程中,基本按照“飞机(航空器)为什么能飞(低速空气动力、高速空气动力),怎么飞(稳定、操纵、飞行过程)和飞得怎么样(所需功率、性能指标)”这样一种思路来阐述观点,同时,还介绍了一些与飞行相关的知识。

本书内容共分为 9 章。

第 1 章介绍了飞行器的分类,固定翼飞机的主要组成,机翼形状与参数和飞行大气环境。这一章要重点掌握机翼形状与参数,大气分层与特性,ISA 的规定,为后面学习奠定基础。

第 2 章阐述了飞机的低速空气动力,包括空气低速流动的基本规律,升力产生的原理和影响因素,阻力产生的原理、影响因素和减小措施,飞机低速空气动力特性和增升装置。这一章是本书的重点,需要重点掌握低速气流的两个规律(连续性定理和伯努利定理),机翼升力产生的原理,阻力的产生原理、分类及减小措施,飞机的升阻比,各种增升装置的增升原理等。这一章的难点为翼型的压力分布规律和翼型低速附面层的形成和特点。

第 3 章阐述了飞机的平衡、稳定和操纵,它们又都可以分为绕横轴的俯仰(纵向)、绕竖轴的方向(航向)和绕纵轴的横向(侧向)这三个方面的相关内容,对飞机的操纵又可以分为主操纵和辅助操纵,还与操纵机构的特点相关。这一章也是本书的重点,需要重点掌握好绕三机体轴的稳定力矩、阻尼力矩和操纵力矩是怎么形成的,受什么因素的影响,如何操纵飞机来维持或改变飞行状态,以及操纵杆力是怎么形成的,受什么因素的影响等。这一章的难点为上反角、后掠翼在侧滑中如何产生方向、横向稳定力矩,方向稳定性与横向稳定性的关系,方向操纵与横向操纵的关系,以及大迎角对横向稳定性、操纵性的影响。

第 4 章首先介绍了与飞行相关的预备知识,包括机场环境、飞行航线、空中交通管制和高度参照调整等方面的内容,然后再按照起飞、上升、平飞(巡航)、下降、着陆这样的基本飞行过

程,阐述各个飞行过程的受力平衡、性能参数与影响因素、操纵方法。在起飞、着陆等小节分析了其详细过程及相应的操纵方法,还介绍了舰载机起降方面的内容。这一章也是本书的重点,需要重点掌握好各个飞行过程的受力平衡、性能参数与影响因素,平飞所需拉力、所需功率曲线,以及它们随飞行速度的变化规律。这一章的难点为平飞所需拉力随速度的变化规律,飞行包线,两个操纵速度范围的划分和侧风情况下的着陆操纵。

第5章介绍了飞机的机动飞行和特殊飞行,包括飞机载荷因数定义,盘旋与转弯,其他机动飞行动作和特殊飞行。这一章要重点掌握飞机正常盘旋过程的受力平衡、性能参数与影响因素,以及操纵方法。这一章的难点为盘旋(转弯)中的侧滑产生的原因,稳定盘旋的操纵方法,侧滑对盘旋性能的影响,以及螺旋(尾旋)产生的原因。

第6章阐述了飞机的高速空气动力,包括空气高速流动的规律,激波的形成与分类,飞机的高速空气动力特性,高速机翼及高速机翼的空气动力特性。这一章要重点掌握空气压缩性的定义与影响因素,高速气流的流动规律,激波的形成与发展,飞机的跨声速空气动力(升力和阻力)随速度的变化规律,高速机翼的特点,以及后掠翼的空气动力特性。这一章的难点为超声速气流的速度与截面积的关系,激波的形成与发展,激波阻力的形成原因,机翼的跨声速空气动力特性,后掠翼的气流特性与翼尖先失速。

第7章阐述了螺旋桨飞机的空气动力,包括螺旋桨的运动规律,螺旋桨拉力和阻力的产生原因和影响因素,螺旋桨拉力随飞行条件的变化规律,螺旋桨功率和效率,螺旋桨的副作用。这一章要重点掌握螺旋桨的运动规律,螺旋桨拉力的产生原因和影响因素,螺旋桨拉力随速度的变化规律,螺旋桨效率的变化规律,螺旋桨的副作用。这一章的难点为螺旋桨拉力随飞行速度和飞行高度的变化规律,螺旋桨效率随速度的变化规律,螺旋桨的进动,螺旋桨滑流扭转对螺旋桨飞机的影响,P-factor。

第8章阐述了直升机飞行原理,包括直升机的特点和分类,单旋翼带尾桨直升机的组成,旋翼的空气动力,直升机操纵,直升机功率与性能,直升机的特殊问题。这一章要重点掌握直升机的分类和各自的优缺点,单旋翼直升机的主要构成,旋翼拉力产生原因与影响因素,直升机不平衡力矩产生及消除方法,直升机操纵机构及操纵方法,直升机所需功率与飞行性能。这一章的难点为旋翼不平衡力矩的产生及消除方法,自动倾斜器的组成及工作原理,直升机地面效应及其对升限的影响,直升机自转下降形成的原因。

第9章首先分析了飞机载重平衡的重要性,然后介绍了载重与平衡有关的术语和基本原理,接着阐述了飞机称重的基本过程,载重平衡的调整方法,以及如何对飞机进行配平。这一章要重点掌握飞机最大业载、航线业载的计算方法,称重的计算方法,飞机配载的流程,以及飞机配平的基本方法。这一章的难点为指数称重计算法和配载预算。

书中除了上述主要内容外,还对一些与飞机、飞行相关的热点、难点研究问题进行了简要介绍,如低空风切变、地效翼船、舰载机起降、多种机动飞行动作、先进高速飞行技术,以扩充知识面和引发大家探究的兴趣。

本书摒弃了大量计算公式、复杂的推导过程,采用通俗易懂的语言来阐述飞机的基本飞行原理,注意承前启后,可读性强。本书知识面丰富,覆盖范围广,既突出飞机基本飞行原理这个重点,又对飞行相关知识进行简单介绍。新旧知识内容有机融合,既强调对传统理论知识的传

承,又注重对新知识、新问题的讨论和探究。本书系统性强、结构合理,通过阅读本书,读者可以比较全面地了解飞机的基本飞行原理。

书中标题带“*”号的部分为选学内容,从第5章至第9章也可以根据专业培养目标,有针对性地进行节选学习。

由于水平与能力有限,书中难免误漏之处,殷切期望广大读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
第一节 飞行器简介	1
第二节 飞机简介	3
第三节 飞行大气环境介绍	11
复习思考题	17
第 2 章 飞机低速空气动力	18
第一节 空气流动的基本规律	18
第二节 升力	25
第三节 阻力	31
第四节 飞机低速空气动力性能	41
第五节 增升装置	44
复习思考题	51
第 3 章 飞机的平衡、稳定和操纵	52
第一节 预备知识	52
第二节 飞机的平衡	54
第三节 飞机的稳定	60
第四节 飞机的操纵	71
复习思考题	85
第 4 章 基本飞行	87
第一节 预备知识	87
第二节 起飞	94
第三节 平飞	102
第四节 上升	114
第五节 下降	119
第六节 着陆	125
复习思考题	139
第 5 章 机动飞行与特殊飞行	140
第一节 飞机的载荷因数	140
第二节 盘旋	141

第三节 其他机动飞行*	151
第四节 特殊飞行*	154
复习思考题	157
第 6 章 飞机高速空气动力	158
第一节 高速气流特性	158
第二节 激波与膨胀波	162
第三节 飞机的高速空气动力特性	166
第四节 高速机翼	174
第五节 其他高速飞行技术	183
复习思考题	188
第 7 章 螺旋桨飞机空气动力	189
第一节 螺旋桨飞机概述	189
第二节 螺旋桨运动规律	189
第三节 螺旋桨拉力和旋转阻力	193
第四节 螺旋桨的有效功率和效率	199
第五节 螺旋桨的副作用	202
复习思考题	207
第 8 章 直升机飞行原理	208
第一节 直升机的特点和分类	208
第二节 单旋翼带尾桨直升机的组成	211
第三节 直升机旋翼空气动力	213
第四节 直升机的操纵	219
第五节 直升机所需功率和飞行性能	223
第六节 直升机的几个特殊问题	227
复习思考题	230
第 9 章 载重与平衡	231
第一节 称重和平衡的必要性	231
第二节 载重与平衡的基本术语、原理	232
第三节 飞机称重	239
第四节 载重与平衡调整	244
第五节 飞机配平	250
复习思考题	253
参考文献	254

第 1 章 绪 论

飞机是一种比空气重的飞行器械,它能在空中飞行要受到空气动力的作用。本章首先对飞行器进行简单的分类介绍;然后,简要地介绍飞机的主要组成部分及其功用、机翼形状及其相关参数;最后,对飞机飞行的大气环境进行介绍。本章旨在为后面学习空气动力学知识和飞行原理奠定必要的基础。

第一节 飞行器简介

飞行器(flight vehicle)是由人类制造的,能飞离地面且在大气层内或大气层外空间(太空)飞行的器械的统称。飞行器通常可分为 3 类:航空器,航天器,火箭、导弹和制导武器。

一、航空器(Aircraft)

航空器是指在大气层中飞行的飞行器。航空器需要以空气为介质产生升力来克服自身重量才能升空飞行。根据产生升力的基本原理,可将航空器分为两类:空气静力航空器和空气动力航空器,如图 1-1 所示。

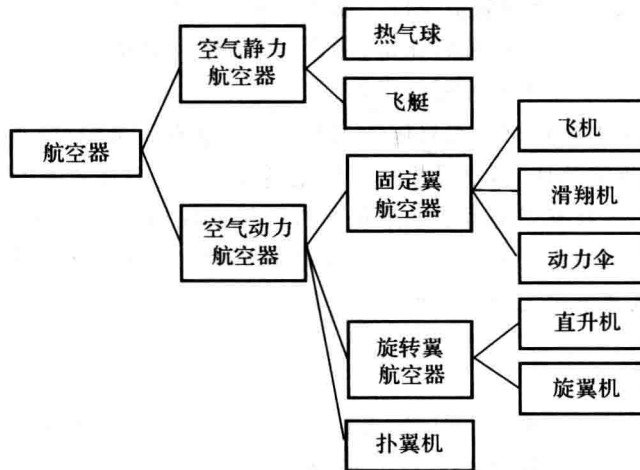


图 1-1 航空器的分类

1. 空气静力航空器

空气静力航空器依靠空气产生的静浮力升空飞行,主要包括气球和飞艇,其主体是一个充盈着密度小于空气密度的气体(如氢气、氦气和热空气)的气囊。由于气囊所产生的浮力大于其自身的重量,故能使其升空飞行。习惯上称此类航空器为轻于空气的航空器。气球(又称热气球)没有动力装置,升空后只能随风飘动,或者被系留在某一固定位置上,不能进行控制;飞

艇装有发动机、安定面和操纵面,可以控制飞行方向和路线。

2. 空气动力航空器

空气动力航空器依靠自身与空气相对运动产生的升力升空飞行。此类航空器主要包括固定翼航空器和旋翼航空器。典型的固定翼航空器为飞机和滑翔机,它们由相对固定的机翼产生升力升空飞行。典型的旋翼航空器为直升机和旋翼机,它们由旋转的翼面产生升力升空飞行。此外还有一种能模拟鸟类飞行的扑翼机,正处于试验研究阶段,至今尚未取得较成熟的飞行应用。习惯上称此类航空器为重于空气的航空器。

飞机是目前最主要、应用范围最广的航空器,它具有驱动前进的动力装置、产生升力的固定机翼、控制飞行姿态的操纵面、用于装载的机身等部件。滑翔机在构造形式上与飞机基本相同,但它没有动力装置,一般由弹射或拖拽升空,然后通过有利气流特性来继续飞行。此外,动力滑翔伞(简称动力伞)也属于空气动力航空器的范畴。

飞机按用途可分为军用飞机和民用飞机两大类。军用飞机是按各种不同的军事用途设计的飞机,主要包括歼击机、轰炸机、军用运输机、侦察机、预警机、电子对抗飞机、反潜巡逻机、水上飞机、空中加油机和教练机等。军用飞机首要关注的是任务和性能,而不是经济性。民用飞机泛指一切非军事用途的飞机,包括旅客机、货机、公务机、农用机、体育运动机、救护机等。旅客机还可分为干线飞机、支线飞机和通用航空飞机。干线飞机一般是指大型旅客机,航行于大城市与大城市之间,载客量大、速度快、航程远的飞机,如空客 A3××系列飞机、波音 B7××系列飞机。支线飞机通常是指中小型旅客机,主要用于大城市与中小城市之间、小城市之间、局部地区短距离的旅客运输,如 CRJ200, ARJ21, 新舟-60 等飞机。与干线飞机相对而言,支线飞机航行距离较短,但其有较好的经济性。通用航空飞机是指除用于军事、警务、海关缉私飞行和公共航空运输飞行以外的航空飞机。通用飞机是全部飞机类型中,数量最多、型号最多的机种。如庞巴迪、湾流、塞斯纳、豪客比奇、达索、贝尔等为主要的通用航空飞机制造商。今后,中国通用航空将迎来一个大的发展机遇期。

直升机是一种以动力装置驱动旋翼作为主要升力和驱动力来源,能垂直起降及前后、左右飞行的旋翼航空器。传统地认为,直升机具有固定翼飞机所不具备的垂直起降、空中悬停等特点,使其具有广阔的用途及发展前景。旋翼机与直升机比较相似,但其旋翼不是由动力直接驱动,而是靠前进时产生的相对气流吹动旋翼转动产生升力。旋翼机必须滑跑加速才能升空飞行,是一种介于直升机和飞机之间的飞行器,主要用于搜索和测量。

二、航天器 (Spacecraft)

航天器又称空间飞行器、太空飞行器,是按照天体力学的规律在太空运行,执行探索、开发、利用太空和天体等特定任务各类飞行器。航天器在运载火箭的推动下进入太空,在地球大气层以外运行,在引力场的作用下沿着与天体运动类似的轨迹飞行,装在航天器上的发动机可以为其轨道修正或姿态变换提供所需的动力。

航天器可以分为无人航天器和载人航天器。无人航天器可分为人造地球卫星、空间探测器和货运飞船。载人航天器可分为载人飞船、空间站和航天飞机、空天飞机。我国成功发射的“神舟”系列飞船及“天宫”系列飞行器,标志我国已成为世界上独立掌握载人航天技术的国家之一。

三、火箭、导弹和制导武器

火箭(rocket)是靠火箭发动机提供推进力的飞行器,可以在大气层内飞行,也可以在大气层外飞行。它不靠空气静浮力,也不靠空气动力,而是主要靠火箭发动机的推力升空飞行。导弹和制导武器是依靠制导系统控制其飞行轨迹的飞行武器,可以细分为很多种类。它们由两个主要部分组成,一是战斗部,二是运载器。战斗部可以是常规武器、核武器及生化武器等;运载器的动力装置可以是火箭发动机,也可以是涡轮喷气发动机或冲压发动机。火箭、导弹和制导武器通常只能使用一次,往往按这个标准把它们归为一类。

第二节 飞机简介

飞机是目前最主要的飞行器,它广泛用于军事和国民经济建设两方面。本节将简要地介绍飞机的主要组成部分及其功用,机翼形状及其相关参数。

一、飞机的主要组成部分及其功用

自从1903年莱特兄弟成功制造首架飞机“飞行者I号”以来,飞机的结构形式在不断进步,类型也在不断增多。但迄今为止,除了少数特殊的飞机之外,大部分飞机都是由五大部分组成的:机翼、机身、尾翼、起落装置和动力装置,如图1-2所示。

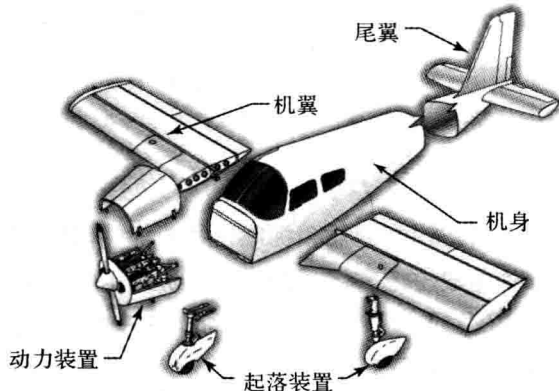


图1-2 飞机的主要组成部分

1. 机翼(Wing)

机翼是飞机的最重要部件之一,一般分为左、右两个翼面,对称安装在机身上。机翼的主要功用是产生升力,以支撑飞机在空中飞行。升力产生的效率是机翼设计时首要考虑的问题。机翼还可以用于吊装发动机、布置武器挂点、安装起落架及起落架轮舱,机翼的内部空间可用作飞机的燃油箱。

机翼在飞机的稳定性和操作性中也扮演着重要的角色。机翼决定了飞机的横侧稳定性。机翼上安装的许多可动(可操纵)翼面能对飞机进行相应操纵。机翼上的可操纵翼面主要有襟翼和副翼。襟翼(flap)一般在机翼后缘内侧,两侧襟翼偏转同步,放下襟翼能起到增加升力的作用,襟翼通常在飞机起降时速度较低情况下使用。副翼(aileron)一般在机翼的后缘外侧,两

边副翼偏转方向相反,当它偏转时引起两侧机翼产生的升力大小不等,从而使飞机滚转。较大型、结构复杂的机翼还可能包含前缘襟翼、前缘缝翼,以改善飞机的低速气动特性。大型飞机机翼还普遍使用减速板或扰流板,用于飞机的空中机动或地面滑跑减速。此外,大型复杂的机翼还可将这些可操纵翼面进一步细分,如襟翼可分为内襟翼和外襟翼,副翼可分为高速副翼和低速副翼,如图 1-3 所示。

机翼的数目也可以变化,安装一层机翼的飞机称为单翼机,两层机翼的为双翼机,甚至还出现过翼机。双翼、多翼多用在一些低速飞机上,现在的高速飞机多为单翼机。机翼可以安装在机身的上部、中间或下部,分别被称为上单翼、中单翼和下单翼。

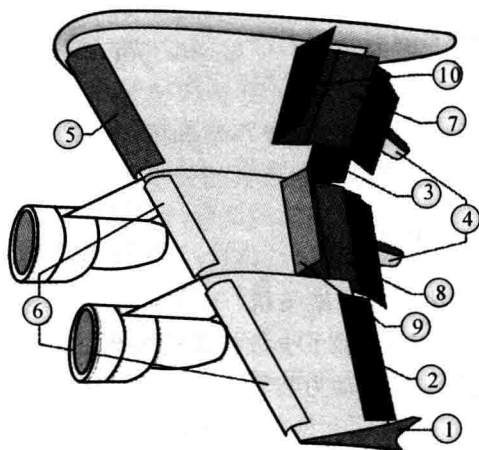


图 1-3 机翼外部结构

- 1—翼梢小翼； 2—低速副翼； 3—高速副翼； 4—襟翼滑轨整流罩； 5—前缘襟翼；
6—前缘缝翼； 7—内襟翼； 8—外襟翼； 9,10—扰流-减速板

2. 机身(Fuselage)

机身是飞机上用来装载人员、货物、武器和机载设备的部件,其主要功用是装载。此外,它能把机翼、尾翼、起落架等部件连成一个整体,起到连接的作用。飞行中机身对产生升力作用很小,但阻力很大,约占全机阻力的 30%~50%。因此,良好的机身流线型对于减小飞机阻力,改善飞行性能具有重要作用。大型飞机可将机身分为前机身、中机身和后机身,由舱段装配连接而成,如图 1-4 所示。现代飞机的飞行(巡航)高度多在 8 000 m 以上,高空空气稀薄、气温低,需要在驾驶舱和客舱内实施人工增压(称为增压舱)以维持乘员的生命。机身按其构造形式,可分为梁式机身、半硬壳式机身和硬壳式机身。

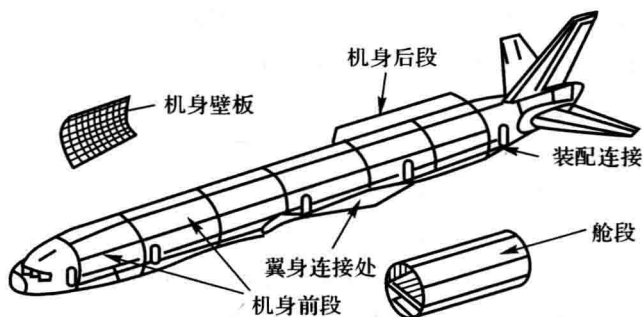


图 1-4 机身的基本组成

3. 尾翼(Empennage)

尾翼是安装在飞机后部、起稳定和操纵作用的装置。尾翼一般分为水平尾翼和垂直尾翼,如图 1-5 所示。水平尾翼简称为平尾,由相对固定的水平安定面(horizontal stabilizer)和可动的升降舵(elevator)组成。升降舵的上、下偏转可以改变水平尾翼上的升力大小、方向,产生俯仰操纵力矩,分别使飞机转入上升或下降状态,来控制飞机的俯仰。当俯仰平衡遭破坏时,水平尾翼对飞机起俯仰(纵向)稳定的作用。平尾按相对于

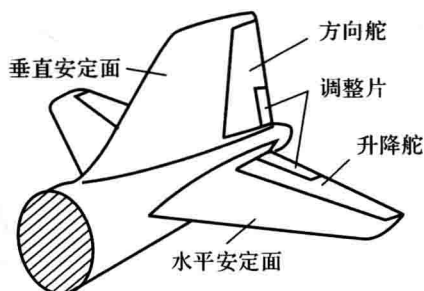


图 1-5 尾翼的主要组成部分

机翼的上下位置不同,大致分为高平尾、中平尾和低平尾三种形式。此外,还有一种平尾安装在垂直尾翼的顶端,从飞机正面看,平尾与垂尾构成“T”字形,故取名为 T 形尾翼。垂直尾翼简称垂尾或立尾,由固定的垂直安定面(vertical stabilizer)和可动的方向舵(rudder)组成。方向舵的左、右偏转改变垂直尾翼上侧向力的大小、方向,产生方向操纵力矩,使飞机向左或向右偏转,来控制飞机的方向(偏航)。当方向平衡遭破坏时,垂直尾翼对飞机起方向(横向)稳定的作用。根据垂尾的数目,飞机可分为单垂尾、双垂尾和多垂尾飞机。

升降舵、方向舵的后缘还安装有一个可操纵的小活动面,称为调整片,用于飞行中减小或消除驾驶杆力。

在现代飞机设计中,有些大型运输机的水平安定面也可以偏转,用于飞机的俯仰配平;有些军用战机水平尾翼是一个可操纵的整体活动面,称为全动平尾;还有些飞机(如 F22, J20)采用“V”形尾翼同时起到平尾和垂尾的作用,V 形尾翼的差动偏转可以提供方向舵的功能,同向偏转可以提供升降舵的功能。

4. 起落装置(Landing gear)

起落装置是用于飞机地面停放或地面滑行时支撑飞机的重要装置,又称为起落架。为适应飞机起飞、着陆滑跑和地面滑行的需要,起落架的最下端装有带充气轮胎的机轮;为了缩短着陆滑跑距离,机轮上装有刹车装置;此外还包括承力支柱、减震器、收放机构、锁住(紧)机构、减摆器和前轮转弯操纵机构等,如图 1-6 所示。

起落架多采用三点式布局,主起落架位于机身两侧,承载飞机的主要重量。根据第三支点位于主轮的前、后位置不同,分别称为前三点式和后三点式起落装置。前三点式起落装置,前轮一般为可偏转式,由驾驶座舱里的方向舵脚蹬控制。飞机机轮上装有各自独立的刹车装置,具有良好的地面滑跑方向稳定性和起降性能,现代飞机绝大多数采用前三点式起落装置。此外,还有自行车式和多支柱式起落架,多支柱式起落架是前三点式的衍生型,像 A380, B747 等大型飞机就采用多支柱式起落架。

起落架在空中可以收起或放下的称为可收放式起落架,不能收起来的称为固定式起落架。空中飞行中收起起落架可显著地减小飞行阻力,提高飞行速度,多用于高速飞机上,固定式起落架多用于小型低速飞机上。

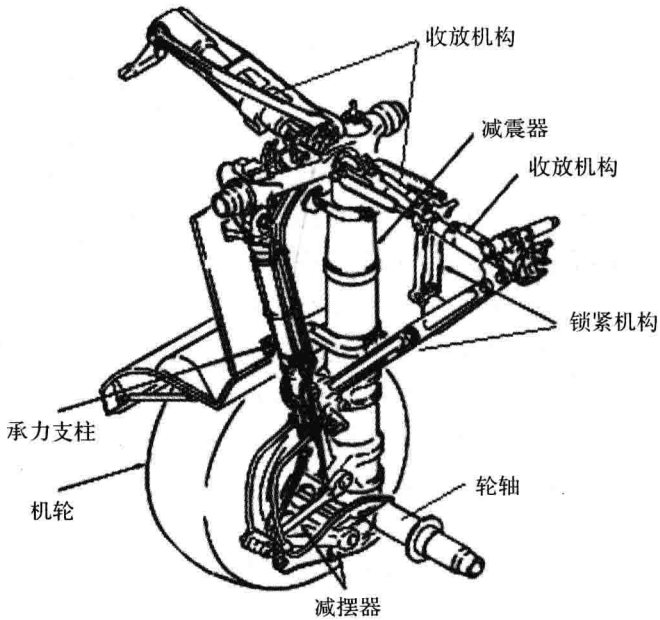


图 1-6 起落装置的基本组成

5. 动力装置(Power plant)

动力装置主要用来产生拉力或推力,克服阻力,从而驱使飞机以规定的速度前行,通常称为航空(飞机)发动机。飞机上采用的发动机主要可以分为两大类:活塞式发动机和涡轮式发动机。活塞式发动机多为四冲程式发动机,通过混合燃气的燃烧和膨胀产生热能推动气缸里的活塞作往复运动,往复运动被连杆和曲轴转化为旋转运动,从而带动螺旋桨运动产生拉力,多用于一些小型、低速的飞机。涡轮式发动机(turbine engine)是通过对气体连续压缩、燃烧并膨胀产生热能来驱动飞机,涡轮式发动机都具备压缩(气)机、燃烧室、涡轮机三大部分。涡轮发动机所产生的热能,一部分可以直接向后喷出,产生向前的推力,另一部分用于驱动涡轮旋转来带动压气机或者其他转动部件工作。涡轮机部分要求工作在高温、高压及高转速的环境中,涡轮的设计制造是此类发动机的技术难点。涡轮喷气发动机是较早实用化的涡轮式发动机,主要用于超声速飞机上,涡轮喷气发动机的油耗大,对于商业民航飞机来说是个致命弱点。在此基础上,又衍生出了涡轮风扇发动机,主要用于歼击机、轰炸机、预警机、民航飞机等飞机上,F119,AL-31,太行(WS-10)为军用涡扇发动机,CFM56,GE90,PW4000,Trent等为常用的民用涡扇发动机。涡轮风扇发动机的油耗小、噪声小,是应用最为广泛的涡轮发动机。如图 1-7 所示为涡轮风扇发动机的主要组成部分。涡轮螺旋桨发动机,主要用于较高速的螺旋桨飞机上。涡轮轴式发动机,主要用于直升机上;还有一种涡轮螺旋桨风扇喷气式发动机。此外,航空发动机还包括脉冲式喷气发动机和冲压式喷气发动机,如图 1-8 所示为航空发动机的分类。

此外,在大、中型飞机上和大型直升机上,为了减少对机场地面设备的依赖,都装有独立的小型动力装置,称为辅助动力装置(Auxiliary Power Unit,APU)。辅助动力装置的核心部分是一个小型的燃气涡轮发动机,一般装在机身最后段的尾椎之内,在机身上方垂尾附近开有进气口,排气直接由尾椎后端的排气口向外排出。其作用是向飞机独立地提供电力和压缩空气,

也有少量的 APU 可以向飞机提供附加推力。飞机开始地面滑行前,由 APU 提供动力来启动主发动机,从而不需依靠地面电、气源设备来启动发动机。飞机在地面或起飞时,由 APU 提供电力和压缩空气,保证客舱和驾驶舱内的照明和空调,在起飞时,APU 可以减少从发动机引气,使发动机功率全部用于地面加速滑跑和爬升,改善飞机的起飞性能。降落后,仍由 APU 供应电力照明和空调,使主发动机提早关闭,从而节省燃油,降低机场噪声,也可以保护机场地面工作人员的安全。

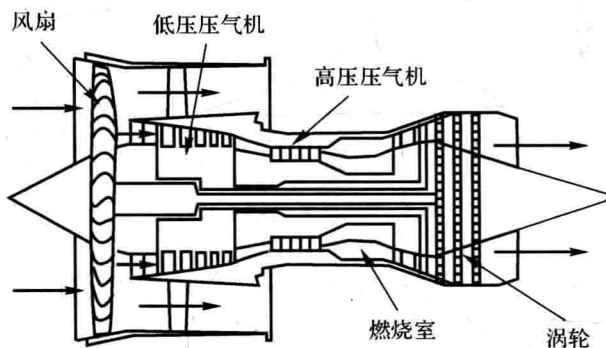


图 1-7 涡轮风扇发动机主要组成部分

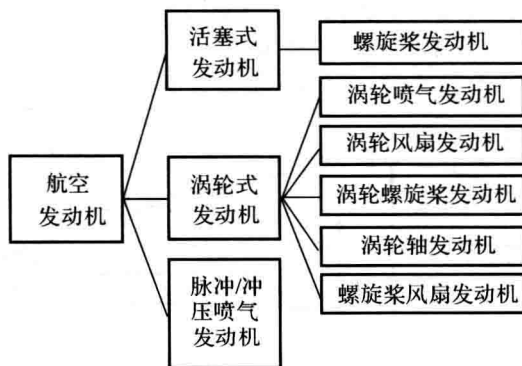


图 1-8 航空发动机分类

通常在飞机爬升到一定高度(一般为 5 000 m)辅助动力装置关闭。但在飞行中当主发动机空中停车时,APU 可在一定高度(一般为 10 000 m)以下的高空中及时启动,为发动机重新启动提供动力。

二、机翼形状与参数

飞机的飞行性能与机翼紧密相关,研究飞行原理,首先要研究机翼的形状与特性参数。机翼形状主要是指机翼的剖面形状和平面形状,它们是影响机翼空气动力性能的主要因素。下面将分别介绍机翼的剖面形状和平面形状。

1. 机翼的剖面形状(翼型)

所谓的机翼剖面形状是指平行于机身纵轴假想将机翼剖切开所得到的剖面形状,又被称为翼型。翼型研究是空气动力学研究的一个重要部分。翼型发展到今天,已出现了很多不同

系列的翼型,美国有 NACA 系列、德国有 DVL 系列、英国有 RAF 系列、苏联有 ЦАГИ 系列等。如图 1-9 所示是一些典型的翼型。

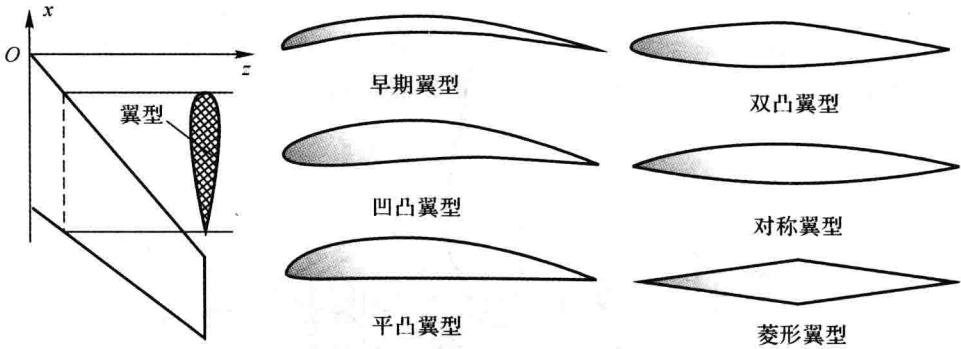


图 1-9 机翼的剖面形状

这些翼型中,平凸形和双凸形翼型的升力和阻力特性都比较好,是现代低速或亚声速飞机广泛采用的翼型,而对称翼型和菱形翼型多用于超声速飞机。

不同翼型形状各异,但都包含以下相同部分:上表面,又称上翼面、上缘曲线;下表面,又称下翼面、下缘曲线;前缘,翼型的最前端点;后缘,翼型的最后端点;翼弦,前缘与后缘的连线;中弧线,上下表面中点的连线,为与上下表面相切一系列圆的圆心连线,如图 1-10 所示。如果中弧线为直线(与翼弦重合),则翼型对称。各种翼型的形状特点,可以通过一些数据进行描述,这些数据统称为翼型参数。下面介绍一些常用的翼型参数。

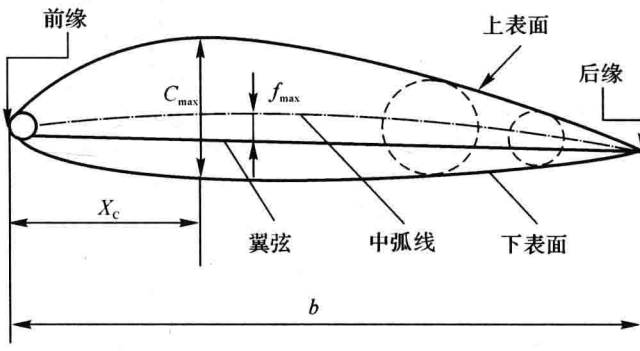


图 1-10 翼型描述

(1) 弦长(b):翼型前、后缘之间的距离,称为翼型的弦长。

(2) 相对厚度(\bar{C}):翼型最大厚度,为上下表面间的最大距离(C_{max})与弦长(b)的比值,又称为厚弦比,并用百分数表示。它表示翼型的厚薄程度,现代飞机的相对厚度一般取 4% ~ 16%。相对厚度大,表示翼型厚;相对厚度小,表示翼型薄。

$$\bar{C} = \frac{C_{max}}{b} \times 100\% \quad (1-1)$$

为了改善机翼的气动特性,机翼不同剖面的相对厚度可以不一样,一般从翼根到翼尖逐步减小,如 Su-27 飞机的翼根相对厚度为 6%,翼尖相对厚度为 3% ~ 4%。

(3) 最大厚度位置(\bar{X}_c):翼型最大厚度到前缘的距离(X_c)与弦长(b)的比值叫翼型的最

大厚度位置,并用百分数表示。现代飞机的最大厚度位置一般取30%~50%。最大厚度位置大,表示翼型最大厚度靠后;最大厚度位置小,表示翼型最大厚度靠前。

$$\bar{X}_c = \frac{X_c}{b} \times 100\% \quad (1-2)$$

(4) 相对弯度(\bar{f}):翼型中弧线最高点距翼弦的距离(f_{\max})与弦长(b)的比值叫翼型的相对弯度,并用百分数表示。它表示翼型的弯曲程度,现代飞机相对弯度一般取0%~2%。相对弯度大,表示翼型弯曲度大;相对弯度小,表示翼型弯曲度小。

$$\bar{f} = \frac{f_{\max}}{b} \times 100\% \quad (1-3)$$

(5) 前缘曲率半径(r_0):翼型前缘内切圆的半径。前缘曲率半径大,表示翼型前缘圆钝;前缘曲率半径小,表示翼型前缘尖锐。

2. 机翼的平面形状

机翼的平面形状是指从上往下看,机翼在水平面上的投影。常见的机翼平面形状有矩形、梯形、椭圆形、后掠形、三角形等,其中前三者归类为平直形机翼,如图1-11(a)所示。机翼的平面形状根据飞机的用途和性能而变化,每种机翼的平面形状都有其各自的优缺点。

早期的飞机,机翼平面形状大多都做成矩形,矩形机翼制造简单,但阻力较大,一般用于小型低速飞机。为了适应提高飞机速度的需要,解决速度与阻力之间的矛盾,后来又出现了椭圆机翼和梯形机翼,椭圆机翼的阻力(诱导阻力)最小,但制造比较复杂,未被广泛采用;梯形机翼综合了矩形机翼与椭圆机翼的优点,阻力比较小,制造也较简单,是低速飞机广泛采用的一种机翼。随着喷气式发动机的使用,飞行速度有了较大的提高,在接近或超过声速飞行时,会产生新的阻力(激波阻力),为了适应高速飞行,相继出现了后掠翼和三角翼,它们被广泛用于高亚声速飞机和超声速飞机,但其低速性能没有其他平直机翼的好。

各种不同平面形状的机翼,其气动性能之所以有差异,与机翼平面形状的各种参数有关,如图1-11(b)所示,机翼平面形状的主要参数如下。

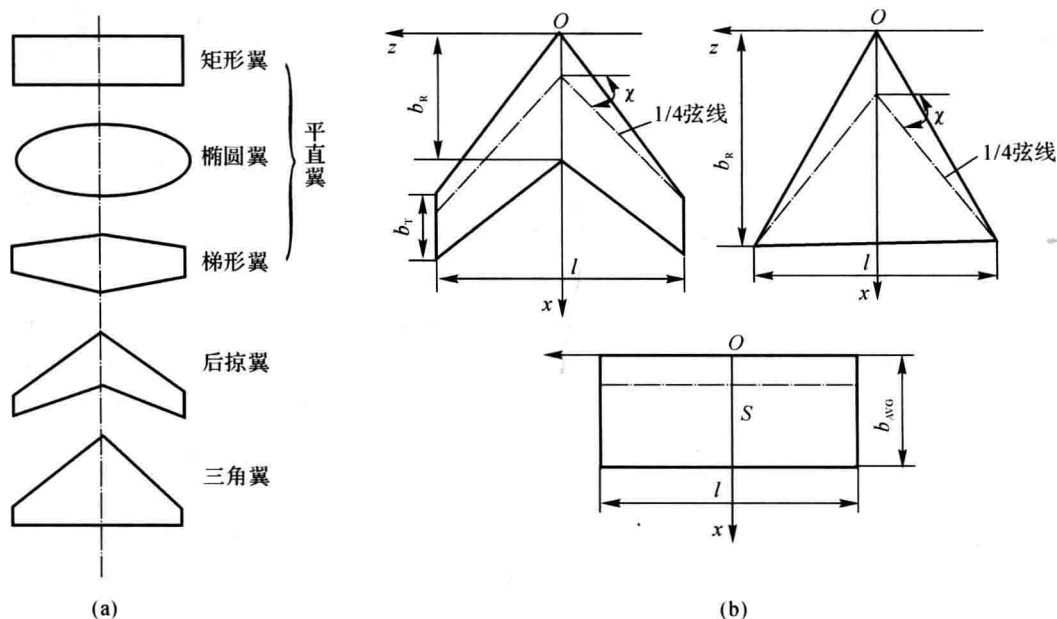


图1-11 机翼的平面形状