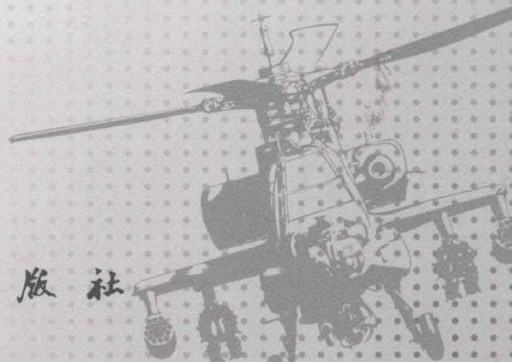


民航特色专业系列教材

# 飞行原理

刘 星 司海青 蔡中长 编著



科学出版社

民航特色专业系列教材

# 飞行原理

刘 星 司海青 蔡中长 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是飞行技术专业的专业教材。全书共分 11 章。分别介绍了飞机和大气的基本知识、飞机空气动力学基础、螺旋桨空气动力、飞机的安定性和操纵性、飞机的基本飞行状态和飞行性能、飞机的特殊飞行、多发飞机的单发飞行等。

本书主要供飞行技术专业学生使用，也可作为交通运输专业和其他相关专业，以及航空院校学生的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

飞行原理/刘星, 司海青, 蔡中长编著. —北京: 科学出版社, 2011. 6  
民航特色专业系列教材

ISBN 978-7-03-031617-2

I. ①飞… II. ①刘…②司…③蔡… III. ①飞行原理 IV. ①V212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 115113 号

---

责任编辑:贾瑞娜/责任校对:朱光兰

责任印制:张克忠/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2011 年 6 月第一次印刷 印张: 23 1/4

印数: 1—3 500 字数: 460 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 从 书 序

改革开放以来,我国民航事业获得了持续、快速、健康的发展。2010年,我国民用航空发展的主要预期指标是:航空运输总周转量493亿吨千米、旅客运输量2.6亿人次、货邮运输量498万吨。30年来上述指标年均增速均达到两位数字,大约是中国国民经济发展速度的两倍,是世界民航业发展速度的四倍。从2005年至今,中国民航没有发生运输飞行事故,创造了中国民航历史上安全运营时间最长的记录,安全、生产、效益形势喜人。按照我国国民经济发展中长期规划和国际通用方法预测,中国民航的持续快速增长还会有较长一段时间。

近年来,中国民航总局党组提出了全面推进建设民航强国的战略构想,因此,对民航各层次管理和专业技术人才的培养提出了更高的要求。民用航空教育必须把培养知识面广、专业素质高、动手能力强、责任心强的专业人才作为自己的奋斗目标,以适应整个行业发展的需要。但是目前民航专业教材体系建设相对滞后,长期以来多数教材源于国外,不能完全符合中国实际;教材出版时间较早,知识相对陈旧,学生难以据此掌握当前民航的高新科学技术。教材问题已经客观地影响到教学效果和质量。

南京航空航天大学民航学院成立于1993年,由原中国民用航空总局和中国航空工业总公司正式联合创办,已形成具有培养本科、硕士、博士、博士后多层次人才的办学格局。目前设有交通管理与签派、民航运输管理、民航机务工程、民航电子电气工程、机场运行与管理、飞行技术6个专业。依托国家级、江苏省特色专业建设点,依靠国防科工委重点学科建设,以及承担国家级、省部级科研项目等多方雄厚的科研实力,形成了集市场营销、运营管理和维修保障为一体的全方位的人才培养体系,成为我国民用航空领域的重要教学和科研基地。

通过对近17年教学与科研成果的凝练与总结,为适应教学改革和民航发展的需要,及时反映现代民航科技领域的研究成果,保证教材建设与教学改革同步进行,我们出版了《民航特色专业系列教材》丛书。本套丛书在组织编写中,重点体现了以下几个方面特色:

1. 突出民航和航空制造专业特色。教材编写过程中充分考虑到专业的交叉性、综合性和国际性强的特点,在要求学生掌握知识的同时,以培养技术与管理结合、适应性强、综合素质高、能在航空制造企业和民航企事业单位服务的复合型人才为目标,丰富和完善教材内容。

2. 面向民航应用,注重实践能力的培养。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强学生的适应性;面向民航工程实际,注重实践环节,强化在民航系统就业所必需的职业技能培养内容,以促进对学生的实际动手能力和创新能力的培养。

3. 强化专业素质教育。在专业所应具备的基本知识基础上, 拓宽和延伸专业课内容, 及时反映民航科技的最新成果, 提升学生的专业素质和学习能力。

4. 兼顾学历教育和执照教育。由于民航专业的特殊性, 获取专业执照是从业的必要条件, 本套教材在编写过程中, 注重学历教育和执照教育的有机结合, 为学生顺利走上工作岗位创造条件。

5. 满足多层面的需求。针对同一类课程, 根据不同的教学层次和学时要求, 编写适合不同层次需求的教材, 涵盖不同范围的拓展知识单元, 注重与先修课程、后续课程的有机衔接, 每本教材在重视系统性和完整性的基础上, 尽量减少内容重复。

本套教材注重知识的系统性与全面性, 突出民航专业特色; 兼顾学生专业能力和综合素养的全面培养, 力图提高民航专业人才的培养质量和完善人才培养的模式; 着力推广民航专业教学经验和教学成果, 推进民航专业教学改革。本套教材的编写出版为提高民航专业教学的整体水平做了有益的探索。

温家宝总理指出: “教育寄托着亿万家庭对美好生活的期盼, 关系着民族素质和国家未来。不普及和提高教育, 国家不可能强盛”。为了不断促进民航院校学生素质的提高以适应我国民航事业的持续、快速、健康发展, 我们在教材编辑与创新上做了一些尝试, 迈出了可喜的一步。作为一名老航空工作者, 我为此鼓与呼。在丛书编写过程中, 南京航空航天大学民航学院还得到众多相关学校与学院各方教授、专家、学者的帮助与指正, 在此一并感谢。

王 知

2010年7月

# 前 言

本书是飞行技术专业的专业教材。根据民用航空器驾驶员、飞行教员和地面教员合格审定规则 61 部 (CCAR-61) 的要求编写。在教材编写过程中,参考了多部国内外同类或相近专业的相关教材和参考书。在确保覆盖大纲所要求的知识点的前提下,补充了部分参考内容,使教材内容既保持了严谨性又增加了趣味性和实用性。针对目前国内外联合培养飞行员的特点,教材中保留了部分英文原文,专业单词的翻译尽量与国内已经使用的比较规范的航空和民航类文献相一致。对国外教学中某些重实用而不规范的内容进行了专门说明,如有关升力的描述。

全书共分 11 章。第 1 章为基本概念,主要介绍飞机的基本组成和大气环境;第 2 章为飞机是如何飞行,主要介绍飞机升力和阻力产生的原因及常用的空气动力曲线;第 3 章为机翼,主要介绍机翼的选取、影响机翼设计其他因数和增升装置;第 4 章为飞机的平衡、安定性和操纵性,主要介绍影响飞机平衡的因素、飞机的静安定性和动安定性,以及飞机的各向操纵性;第 5 章为螺旋桨基本原理,主要介绍螺旋桨的结构、拉力的变化及螺旋桨的副作用;第 6 章为高速飞行,主要介绍高速气流的空气动力特性;第 7 章为水平直线飞行、上升、下降,主要介绍平飞、上升和下降的性能及其图表的使用;第 8 章为机动飞行,主要介绍机动飞行时飞机的受力情况和性能;第 9 章为起飞和着陆,主要介绍飞机的起飞和着陆性能及操纵原理;第 10 章为多发动机飞机飞行的概念,主要介绍多发飞机单发失效时的受力情况及操纵;第 11 章为特殊飞行,主要介绍飞机失速、深失速、螺旋和在扰动气流中飞行的有关知识。

本教材第 1、2、3、6、8、9、10、11 章由刘星编写;第 4 章由司海青编写;第 5 章由蔡中长编写;王兵参与了第 7 章中有关外文翻译的校核。全书由刘星统稿,王江峰教授、罗明教授审稿。

由于编写时间仓促,水平有限,不足之处恳请广大读者批评指正。

本书编写过程中得到南京航空航天大学教务处和南京航空航天大学民航学院的大力支持。编写中参阅了许多作者的著作,在此一并深表谢意。

刘 星

2010 年 11 月

南京航空航天大学民航学院

# 符号说明

$a$ ——加速度	转速度
$A$ ——流管截面积	$V$ ——速度
$AR(\lambda)$ ——展弦比	$V_1$ ——决断速度
$b$ ——翼弦	$V_{EF}$ ——关键发动机故障速度
$C_L$ ——升力系数	$V_2$ ——起飞安全速度
$C_D$ ——阻力系数，螺旋桨的旋转阻力系数	$V_{max}$ ——平飞最大速度
$C_L^\alpha$ ——升力系数斜率	$V_{min}$ ——平飞最小速度
$C_R$ ——总空气动力系数	$V_s$ ——失速速度
$C_T$ ——螺旋桨的拉力系数	$V_x$ ——陡升速度
$D$ ——阻力、螺旋桨直径	$V_y$ ——快升速度
$R$ ——总空气动力	$W$ ——重力、飞机重量
$F$ ——地面摩擦力	$\alpha$ ——迎角、桨叶迎角
$H$ ——高度	$\beta$ ——侧滑角
$K$ ——升阻比	$\gamma$ ——坡度
$L$ ——升力，翼展	$\epsilon$ ——下洗角
$X$ ——距离	$\eta$ ——滑翔比、效率
$M$ ——马赫数、力矩	$\theta$ ——上升角、下降角、性质角
$N$ ——地面支持力	$\chi$ ——后掠角
$n_L$ ——升力方向的载荷因数	$\eta$ ——稍根比
$n$ ——载荷因数	$\rho$ ——空气密度
$T$ ——拉力、推力	$\phi$ ——桨叶角、飞机机翼的安装角
$P$ ——功率、压强	$\delta_{升}$ ——升降舵偏转角
$p$ ——压力	$V_{MC}$ ——最小操纵速度
$R$ ——转弯半径	$V_{MCA}$ ——空中最小操纵速度
$S$ ——机翼面积	$V_{MCG}$ ——地面最小操纵速度
$U$ ——风速，螺旋桨桨叶某剖面的旋	$V_{MH}$ ——最小离地速度
	$V_R$ ——抬前轮速度

# 目 录

丛书序

前言

符号说明

<b>第 1 章 基本概念</b> .....	1
1.1 有关飞机的基本概念 .....	1
1.2 地球大气 .....	7
习题 .....	16
<b>第 2 章 飞机是如何飞行</b> .....	17
2.1 气流特性.....	17
2.2 升力的三种描述.....	19
2.3 功率.....	31
2.4 阻力.....	33
2.5 飞机的升阻比.....	39
2.6 飞机的空气动力性能曲线.....	40
2.7 机翼的升力效率.....	44
习题 .....	46
<b>第 3 章 机翼</b> .....	48
3.1 翼型的选取.....	48
3.2 机翼构型.....	55
3.3 影响机翼设计的其他因数.....	59
3.4 增升装置.....	63
习题 .....	66
<b>第 4 章 飞机的平衡、安定性和操纵性</b> .....	68
4.1 飞机的重心与坐标轴.....	69
4.2 飞机的平衡.....	70
4.3 飞机的安定性.....	75
4.4 飞机的操纵性.....	89
4.5 电传操纵.....	98
习题 .....	99
<b>第 5 章 螺旋桨基本原理</b> .....	102
5.1 螺旋桨介绍 .....	102



5.2	螺旋桨的拉力和旋转阻力 .....	104
5.3	螺旋桨拉力在飞行中的变化 .....	106
5.4	螺旋桨的负拉力 .....	109
5.5	螺旋桨的有效功率和效率 .....	112
5.6	螺旋桨的副作用 .....	117
	习题 .....	121
<b>第 6 章</b>	<b>高速飞行</b> .....	<b>123</b>
6.1	高速气流特性 .....	123
6.2	高速飞行中的机翼升力和阻力 .....	134
6.3	高速飞机的空气动力特性 .....	147
6.4	高超音速飞行 .....	155
6.5	蒙皮加热 .....	156
	习题 .....	157
<b>第 7 章</b>	<b>水平直线飞行、上升、下降</b> .....	<b>158</b>
7.1	与性能计算相关的一些基本概念 .....	159
7.2	水平直线飞行 .....	162
7.3	上升 .....	177
7.4	下降 .....	188
	习题 .....	202
<b>第 8 章</b>	<b>机动飞行</b> .....	<b>208</b>
8.1	水平直线加、减速飞行 .....	208
8.2	侧滑 .....	211
8.3	盘旋 .....	218
	习题 .....	236
<b>第 9 章</b>	<b>起飞和着陆</b> .....	<b>240</b>
9.1	滑行 .....	240
9.2	起飞 .....	242
9.3	进场方法简介 .....	258
9.4	着陆 .....	260
9.5	风对起飞、着陆的影响及其修正方法 .....	275
9.6	特种条件下的起飞、着陆 .....	284
9.7	着陆目测 .....	288
9.8	起飞、着陆中的特殊问题 .....	294
	习题 .....	310
<b>第 10 章</b>	<b>多发动机飞机飞行的概念</b> .....	<b>316</b>
10.1	为什么是两台发动机 .....	316

10.2	开始多发动机训练	318
10.3	单发失效会造成的后果	318
10.4	不对称拉力空气动力学	319
10.5	不对称拉力情况下的平飞	321
10.6	不对称拉力飞行中的转弯	326
10.7	中心线推力	328
	习题	329
<b>第 11 章</b>	<b>特殊飞行</b>	<b>331</b>
11.1	失速	331
11.2	螺旋	338
11.3	扰动气流中的飞行	341
11.4	积冰条件下的飞行	349
11.5	“吃气流”问题	352
	习题	357
	参考文献	359

# 第1章 基本概念

要学好飞行原理，首先必须掌握一些基本概念和术语。对于初学者来说，这些基本概念和术语将会成为学习过程中看不见的障碍。通过学习一些基本的术语和概念，我们希望能帮助大家克服这个困难。

## 1.1 有关飞机的基本概念

有些读者可能比较熟悉有关飞机的一些术语，而有些则未必。无论如何，细读本章以下的所有内容将有助于对后面章节的理解。对于熟悉飞机大部分部件、了解操纵面的操作，以及飞机基本操作的读者可以跳过这些内容直接进入下面的章节。

### 1.1.1 飞机的主要组成部分和功用

如图 1.1 所示为某飞机的主要部件。包括机体、起落装置和动力装置。其中机体是飞机的主要组成部分，包括机身、机翼和尾翼<sup>[1]</sup>。

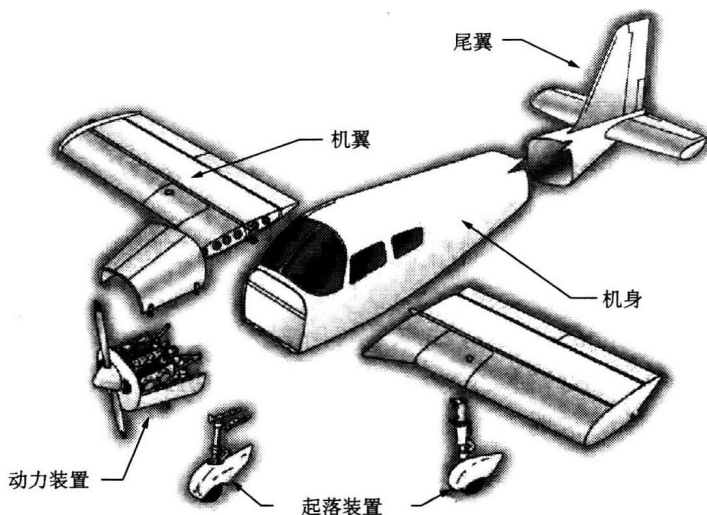


图 1.1 飞机的主要部件

(1) 机身 (fuselage): 机身的主要功用是装载乘员、旅客、武器、货物和各种设备，还可将飞机的其他部件如尾翼、机翼及发动机等连接成一个整体。

(2) 机翼 (wing): 大部分现代飞机在机身上装有上单翼或下单翼。大部分 (而非全部) 上单翼飞机的机翼都有支杆进行支撑。支杆使机翼更轻, 不过阻力 (在空气中进行运动的阻力) 也更大。机翼的主要功用是产生升力, 以支持飞机在空中飞行, 也起一定的稳定和操纵作用。

机翼后缘外侧的可移动面是副翼, 用于控制飞机进行滚转 (围绕机身纵轴进行的旋转)。副翼由驾驶盘或驾驶杆的左右转动进行控制。副翼成对安装, 当一边的副翼向上偏转时另一边的副翼则向下偏转。操纵面将在下面内容中详细讨论。

机翼后缘内侧的可移动面是襟翼。襟翼用于在低速时产生更大的升力并且在降落时增大阻力。降落时增大的阻力可帮助降低飞机速度, 使降落角度更加陡。襟翼将在关于机翼的章节中进行详细讨论。

(3) 尾翼 (empennage): 尾翼由水平尾翼 (horizontal stabilizer)、升降舵 (elevator)、垂直尾翼 (vertical stabilizer) 和方向舵 (rudder) 组成。升降舵用于调节或

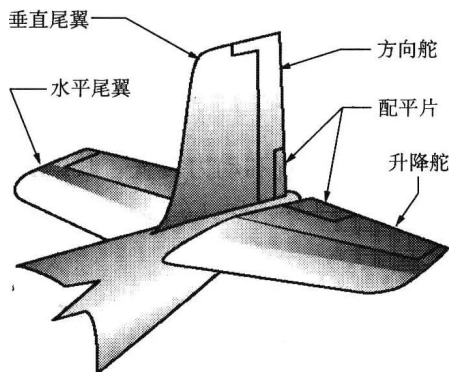


图 1.2 尾翼

控制飞机的俯仰运动 (即飞机的抬头或低头的姿态)。升降舵与驾驶盘或驾驶杆相连, 通过向前或向后的运动进行操作。如图 1.2 所示, 有些飞机的整个水平尾翼就是它的升降舵, 被称为全动水平尾翼, 这种全动水平尾翼一般用于高速飞机, 它兼有水平安定面和升降舵两者的作用。方向舵则在飞机转弯时用来使方向稍微发生改变。驾驶舱地板上的两块踏板用来操作方向舵, 从而控制飞机的运动方向。

如图 1.2 所示, 大部分飞机在升降舵的后缘装有小块的铰链片, 有时在方向舵上也有, 这块小铰链片被称为配平片 (trim tabs)。配平片的移动方向和操纵面相反。配平片的作用是降低驾驶盘上所需的操纵力, 使飞机能保持理想的飞行姿态。

(4) 起落装置 (landing gear): 起落装置用来支持飞机并使它能在地面和水平面起落和停放。陆上飞机的起落装置, 大都由减震支柱和机轮等组成。它用来在起飞、着陆滑跑、地面滑行和停放时支撑飞机。

小型飞机有两种类型的起落架。前三点式起落架的主轮在飞机重心之后, 而可控前轮位于重心之前。后三点式起落架主轮位于飞机重心之前, 而可控尾轮位于飞机尾部。可控前轮或尾轮由方向舵踏板进行控制。大型飞机一般都采用前三点式起落架。

(5) 动力装置 (powerplant): 动力装置主要用来产生拉力或推力, 使飞机前进。其次还可以为飞机上的用电设备提供电源, 为空调设备等用气设备提供气源。

现代飞机的动力装置应用较广泛的有四种: ①航空活塞式发动机加螺旋桨推进

器。②涡轮喷气发动机。③涡轮螺旋桨发动机。④涡轮风扇发动机。随着航空技术的发展，火箭发动机、冲压发动机等也将会逐渐被采用。动力装置除发动机外，还包括一系列保证发动机正常工作的系统，如燃油供应系统等。

### 1.1.2 翼型和机翼

翼型 (airfoil) 是设计出来产生升力的机翼剖面形状。一定要注意不要错误地将机翼和翼型的概念搞混。如图 1.3 所示，翼型就是机翼的一个切面形状。除了机翼，螺旋桨和尾翼也是翼型形状。但是翼型只是机翼的一个切面形状，而不是机翼本身。对某些机翼来说，沿机翼展向的不同位置翼型形状各异。

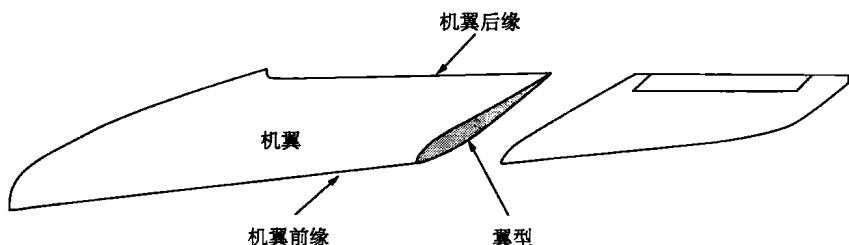


图 1.3 机翼和翼型

最早的飞机，机翼是一块平板，翼剖面就是一个平板剖面 [图 1.4 (a)]，这种机翼升力很小。后来出现了弓形翼型的机翼 [图 1.4 (b)]，其升力特性虽然比平板剖面好，但总的来说还是不理想。再后来出现了平凸形 [图 1.4 (c)]、双凸形 [图 1.4 (d)]、对称形 [图 1.4 (e)]、层流形 [图 1.4 (f)]、菱形 [图 1.4 (g)]、圆弧形等翼型 [图 1.4 (h)]<sup>[2]</sup>。

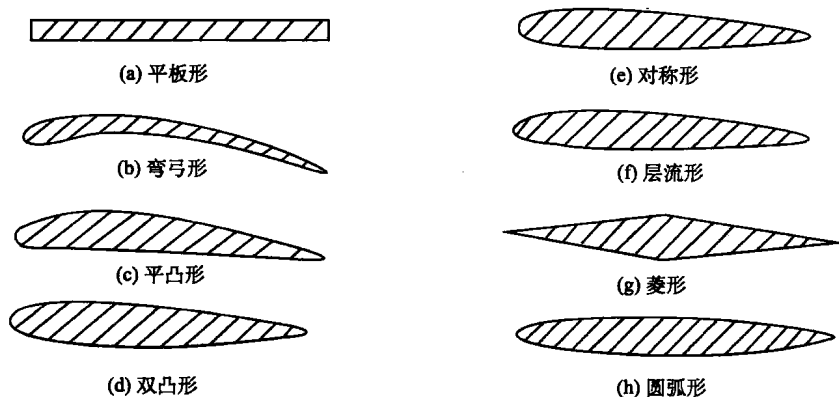


图 1.4 各种翼型

平凸形和双凸形翼型的升力和阻力特性都较好，而且对结构布置和减轻重量也有利，是现代低速飞机广泛采用的翼型。

对称形翼型，前缘比较尖，最大厚度位置靠后，临界  $M$  数较高，阻力小。这种翼型常用于各种飞机的尾翼上和某些高速飞机的机翼上。

所谓“层流形翼型”就是指所设计的翼剖面，翼面边界几乎保持层流的摩擦阻力小的翼型。这种翼型的特点是前缘比较尖，最大厚度一般在 50%~60% 弦长位置，后缘角大，最低压力点尽可能位于翼型靠后的部分。这种翼型常用于速度较高的飞机上。

圆弧形和菱形翼型常用在超音速飞机上。这两种翼型前端很尖，而且很薄，超音速飞行时阻力小，很有利。但在低速飞行时，升力和阻力特性不好，使飞机的起落性能变差。

用来表明翼型形状特点的一些数据统称为翼型参数。翼型参数主要有：厚弦比、最大厚度位置和中弧曲度。

如图 1.5 所示，翼弦（chord line）和弯度决定了翼型的特征。有关翼弦的定义可以从图 1.3 所示开始，从图中可以看到，翼型有前缘（leading edge）和后缘（trailing edge）。翼弦是连接前缘和后缘的虚构直线。翼弦用于确定几何迎角和机翼面积（下面讨论），其长度用  $b$  表示。如图 1.5 所示，相对风（relative wind）是指离机翼一定距离风的方向。风向与机翼运动的方向相反并平行。相对风向的速率等于机翼运动的速率。在空气动力学中，几何迎角（angle of attack）的定义即为翼型几何平均弦的弦线和相对风方向之间的夹角。

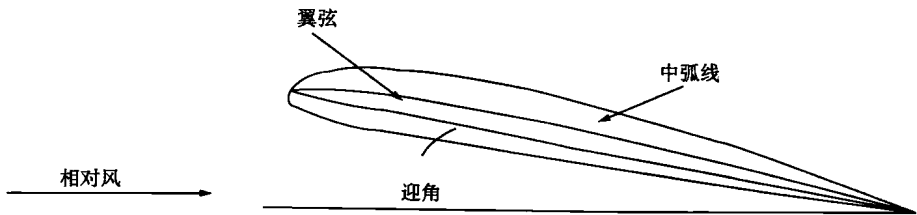


图 1.5 翼型参数

翼型的最大厚度 ( $C_{\text{最大}}$ ) 与翼弦的比值叫厚弦比，也称相对厚度。厚弦比一般用百分数表示为

$$\bar{C} = \frac{C_{\text{最大}}}{b} \times 100\%$$

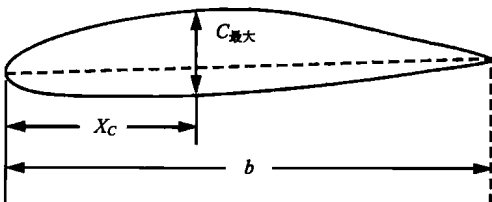


图 1.6 最大厚度位置

翼型的最大厚度所在的位置到前缘的距离叫最大厚度位置（即图 1.6 中的  $X_c$ ），通常以其与翼弦的比值的百分数 ( $\bar{X}_c$ ) 来表示，即

$$\bar{X}_c = \frac{X_c}{b} \times 100\%$$

中弧线 (camber line) 是一条与翼型上表面和下表面距离相等的曲线。中弧曲度是翼型中弧线的弯度程度。一个机翼的翼型如果其中弧线曲率很大的话, 则称为高中弧曲度机翼。对称翼型没有中弧曲度。由中弧线到翼弦的垂直距离, 叫弧高 (图 1.7)。最大弧高 ( $f_{\text{最大}}$ ) 与翼弦的比值, 叫做翼型的中弧曲度, 也称相对弯度, 一般用百分数表示为

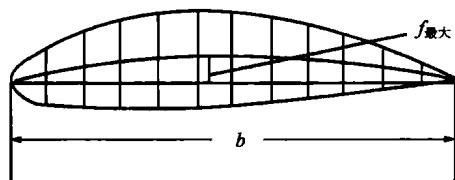


图 1.7 中弧线与最大弧高

$$\bar{f} = \frac{f_{\text{最大}}}{b} \times 100\%$$

### 1.1.3 机翼的平面形状

翼型只是进行机翼设计的特点之一。机翼的平面形状是机翼设计的另一个特点。机翼的平面形状是从上往下看到的机翼的外形轮廓。目前比较常见的机翼平面形状如图 1.8 所示。决定机翼最终平面形状的因素有许多, 包括飞机的主要用途, 翼载荷、设计飞行速度范围、结构与维修成本、操纵性、稳定性、失速与螺旋 (尾旋) 特性, 机翼内是否放置油箱、机翼上是否安装增升装置、起落架, 等等。机翼可能被做成梯形翼, 机翼前缘或后缘可能是直线或者圆弧形的, 翼尖可能是矩形或是弧形, 每种外形都有其优点和缺点, 有些飞机甚至结合多种机翼平面形状特点来达到所期望的飞行特点。

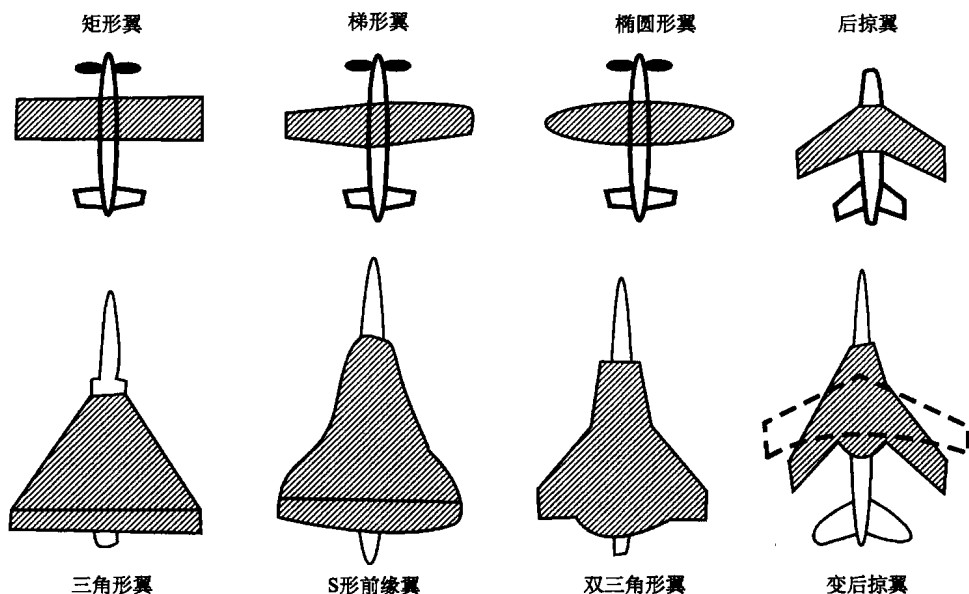


图 1.8 不同的机翼平面形状

最早的空气动力学工程师发现, 矩形翼最靠近机身部分产生的升力是最大的, 翼尖部分产生的升力就相对较小。他们认识到使机翼沿展向逐渐收缩能够节省宝贵的重

量，并且使载荷的分布效率更高。而缺点是每个机翼内部支架的长度都不相同，增加了生产的时间和成本。矩形翼简单，由于内部支架的长度大小相同，其制造和维修成本低廉，对于那些造价低廉的飞机是最好的选择。矩形翼的另外一个优点是它的翼根部分会先失速，为飞行员提供了更显著的失速告警，也使失速改出更容易。至少对亚音速飞机来说，能提供最优展向载荷分布，并且产生最小诱导阻力的机翼平面形状是椭圆形。这种高效率所付出的代价是一旦失速整个机翼是同时进入的，这与失速逐渐由翼根向翼尖发展相比更不易被接受。椭圆形翼的制造也是最困难、最昂贵、最复杂的，所以它们主要被运用于高性能飞机，如英国的喷火式战斗机上。

各种不同平面形状的机翼，其升、阻力之所以有差异，与机翼平面形状的各种参数有关。机翼平面形状的参数有：尖削比、展弦比、后掠角。

机翼的翼尖弦线与翼根弦线的比值称为尖削比，又称梢根比，即

$$\eta = \frac{b_{\text{翼尖}}}{b_{\text{翼根}}}$$

尖削比表示梯形翼根到翼尖的收缩度，它是描述机翼平面形状的参数之一。矩形翼的尖削比为 1、三角形翼的尖削比为 0。现代飞机机翼的尖削比为 0~0.5。

描述机翼平面形状的另一参数就是展弦比。翼展是从一端翼尖到另一端翼尖的长度。几何平均弦是沿机翼展向的平均弦长，机翼面积是翼展乘以几何平均弦长。机翼面积通常包括机身和发动机短舱所占的部分。展弦比的定义为翼展与几何平均弦的比值，即

$$\lambda = \frac{L}{b_{\text{平均}}}$$

对于某些平面形状的机翼，平均翼弦是多长很难判断，所以经常使用翼展的平方除以机翼面积来计算平均翼弦，结果是相同的，即

$$\lambda = \frac{L^2}{S}$$

大多数小型通用航空飞机，其机翼的展弦比是 6~8。这就意味着这种机翼的翼展比其平均弦长要长 6~8 倍。

展弦比的大小对于机翼产生的诱导阻力大小非常重要。实际上，展弦比增加一倍，诱导阻力会减小为原来的一半。增加翼展而保持机翼面积不变，得到的结果就是减小了翼尖弦长，这样就减小了翼尖涡流。这些涡流会影响当地的相对风向，改变的风向将影响到机翼表面的一小段，进一步减小诱导阻力。值得注意的是，那些有名的高效（大升阻比）飞机，像滑翔机、远程运输机、高空侦察机和人力飞机，它们都会有一个很高的展弦比。另外，那些像特技表演飞机和歼击机一样需要极好的可操控性和强度的飞机，通常情况下具有小展弦比机翼。

决定机翼平面形状的另一因素是后掠（前掠）。如果将 25% 的翼弦点连接成一条直线，这条线与飞机纵轴不垂直，该机翼就叫做后掠（前掠）翼。后掠角（ $\chi$ ）是



表示机翼的平面形状向后倾斜程度的角度。三角形翼等也有用前缘线的倾斜角表示的,这时叫前缘后掠角,如图 1.9 所示。

现代飞机机翼的后掠角小到几度,大到  $60^\circ$  以上。虽然存在前掠翼飞机,但几乎所有的飞机从翼根到翼尖都是后掠的。大多数后掠翼设计是为了延缓可压缩流带来的问题,这一问题就是当飞机飞行速度接近或达到音速时如何控制激波的产生。但是许多低速飞机也采用后掠翼设计,因为这有助于提高其侧向稳定性。

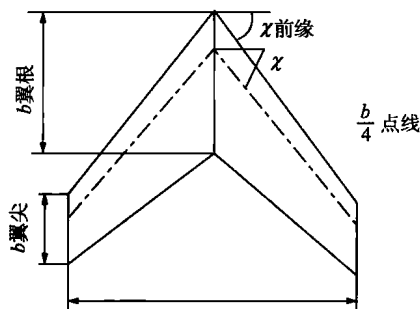


图 1.9 后掠翼的几何参数

## 1.2 地球大气

众所周知,地球的独一无二在于地球的大气能维持生命活动。天气即大气的状态,无论何时何地它都强烈地影响着我们的日常工作和生活。事实上,我们所有活动都受天气的影响,但是在人的活动中,没有哪一件能比航空受天气的影响更强烈。

天气是复杂的,有时难以理解。不平静的大气总是在不停地运动,试图达到一种平衡。这些永不停止的大气运动建立起的连锁反应使天气的连续变化达到极致。

### 1.2.1 大气的组成与分层

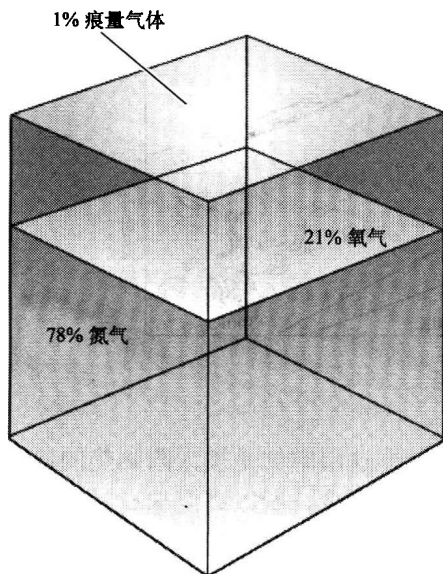


图 1.10 大气的组成

大气是包围着地球的空气混合物,这层空气为人、动物等地球上的生命提供防护,使其免受过量紫外线辐射。氮气占大气气体体积的 78%,氧气占 21%。氩气、二氧化碳和其他痕量气体组成剩余的 1% (图 1.10)。

在大气层内,有几个公认的大气分层,这些大气分层不仅由高度而且由所在高度的一些特性来决定 (图 1.11)。

第一层,被称为对流层,在极地地区从海平面延伸到 20000ft (约 8km) ( $1\text{ft}=0.3048\text{m}$ ) 的高度,在赤道地区延伸到 48000ft (约 14.5km) 的高度。平均高度约为 36000ft (约 11km)。大多数天气、云、风暴和温度变化都发生在大气的这一层中。在对流层,气温的变化大约是每上升 1000ft,温度下降  $2^\circ\text{C}$ ,也就是平均每升高 1000m,降  $6.5^\circ\text{C}$ 。造成气温如