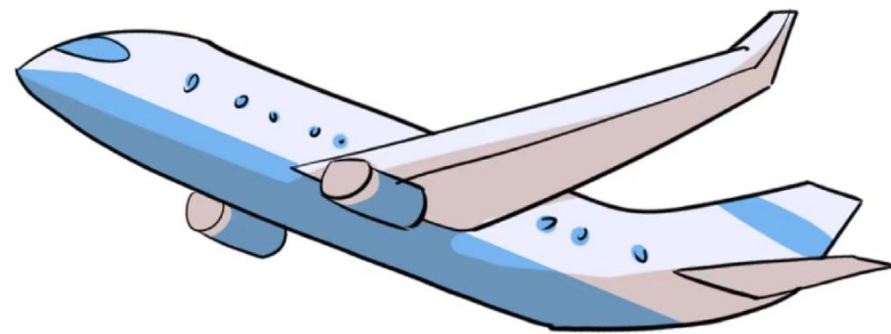


《飞机空气动力学》



第十一章：飞机机翼及其几何参数





目录

11.1 机翼的几何外形与参数定义

11.5 升力系数与阻力系数

11.2 翼型系列的命名方式

11.6 机翼的设计原则与影响升力和阻力的因素

11.3 翼型迎角的概念

11.7 机翼与机身的安装角度与位置

11.4 翼型表面的压力分布



11.1 机翼的几何外形与参数定义



11.1 机翼的几何外形与参数定义

一般而言，机翼的几何外形可以分为机翼平面和翼型剖面的几何外形，两者的几何外形依靠其几何形状和几何参数加以描述。

1. 机翼平面的几何外形

(1) 机翼平面形状的定义

这里以飞机的梯形翼为例对机翼平面形状的定义加以说明，所谓**机翼的平面形状**是指从飞机的上方向下看去，**机翼在地平面上的投影形状**，如图11-1所示。

航空界所指的机翼，依据其意义可以分成**全机翼**（Full wing）与**净机翼**（Net wing，又称外露机翼）。从飞机的上方向下看，包含机身的投影部分，是通用的参考面积，往往指的是全机翼面积。**净机翼是真实机翼占据的机翼投影部分**，也就是全机翼的投影形状扣除机身的投影部分，其机翼面积是指气流真实流过而产生空气动力的面积，也就是真实机翼所占的面积

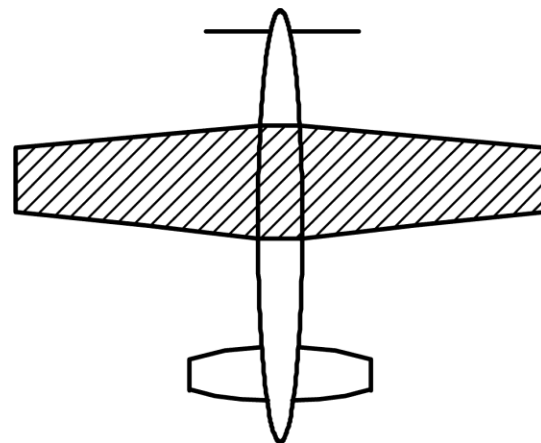
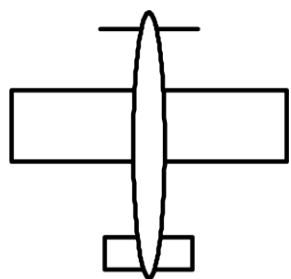


图11-1 机翼平面形状定义

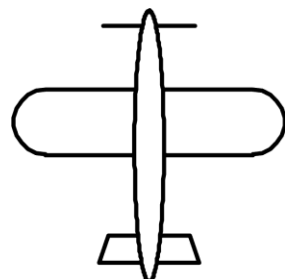
11.1 机翼的几何外形与参数定义

(2) 常见的几种机翼平面形状

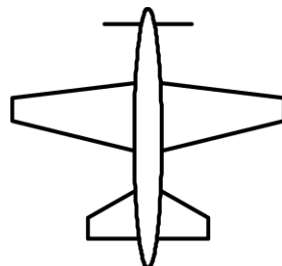
早期飞机的机翼平面形状大多做成矩形，虽然其制造简单，但是飞行阻力较大。为了适应飞行速度的要求，后来又制造出了椭圆翼和梯形翼。随着航空科技与制造技术的进步，飞机的飞行速度逐渐接近或超过声速，相继出现了后掠翼与三角翼等类型，各种常见的机翼平面形状如图11-2所示。



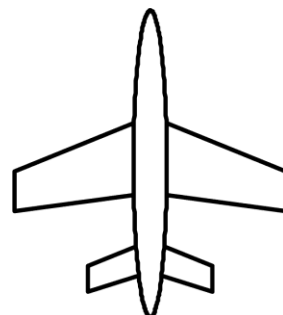
(a) 矩形翼



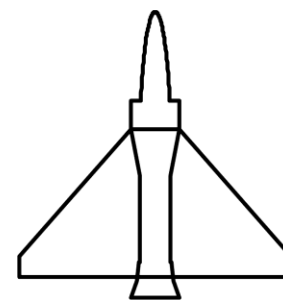
(b) 椭圆翼



(c) 梯形翼



(d) 后掠翼



(e) 三角翼

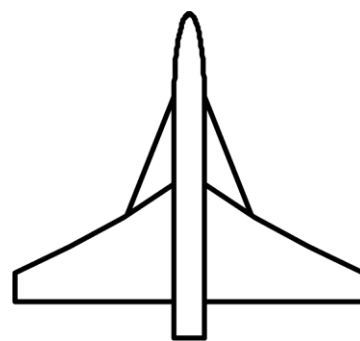
图11-2 几种常见的机翼平面形状

11.1 机翼的几何外形与参数定义

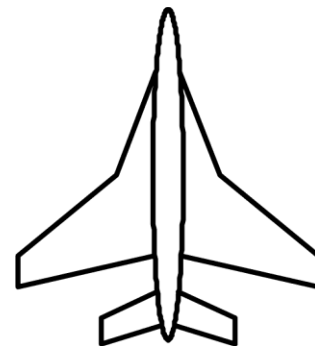
机翼的外形往往决定飞机的速度，**矩形机、椭圆翼与梯形翼为低、中亚声速飞机所使用的机翼，飞行速度最多不会超过0.75马赫（甚至更低）。**现代民航大型客机则采用后掠机翼。

例如波音747，它的巡航速度大约是0.85马赫，为了提高飞机的临界飞行速度（临界马赫数），**使飞机在较高速度不受机翼所产生的局部激波的影响下飞行，其采用的就是后掠机翼。**如果要突破声障，飞机必须采用新的空气动力外形。其中多选用**三角翼以及细长流线型的细腰机身，以便飞机快速地通过跨声速流区域，避免声障的影响。**

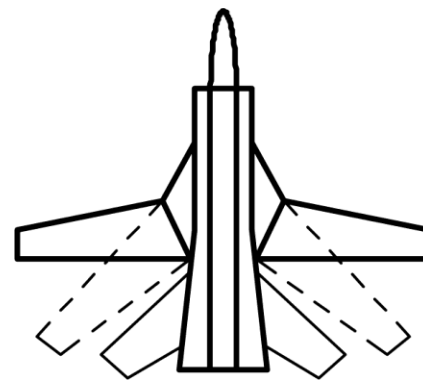
20世纪50年代以来，陆续出现了由上述基本平面形状发展或组合而成的复合机翼，如双三角翼、边条翼与变后掠翼等类型，如图11-3所示



(a) 双三角翼



(b) 双三角翼



(c) 变后掠翼

图11-3 双三角翼、边条翼与后掠翼外形

11.1 机翼的几何外形与参数定义

(3) 描述机翼平面形状的主要参数

对于机翼平面形状的特性, 一般用机翼面积 (S)、翼展长度 (b)、梯度比 (λ)、展弦比 (AR) 以及后掠角 (θ) 等参数描述。

这里仍然以梯形翼为例, 描述机翼平面几何形状的各种参数, 如图11-4所示。

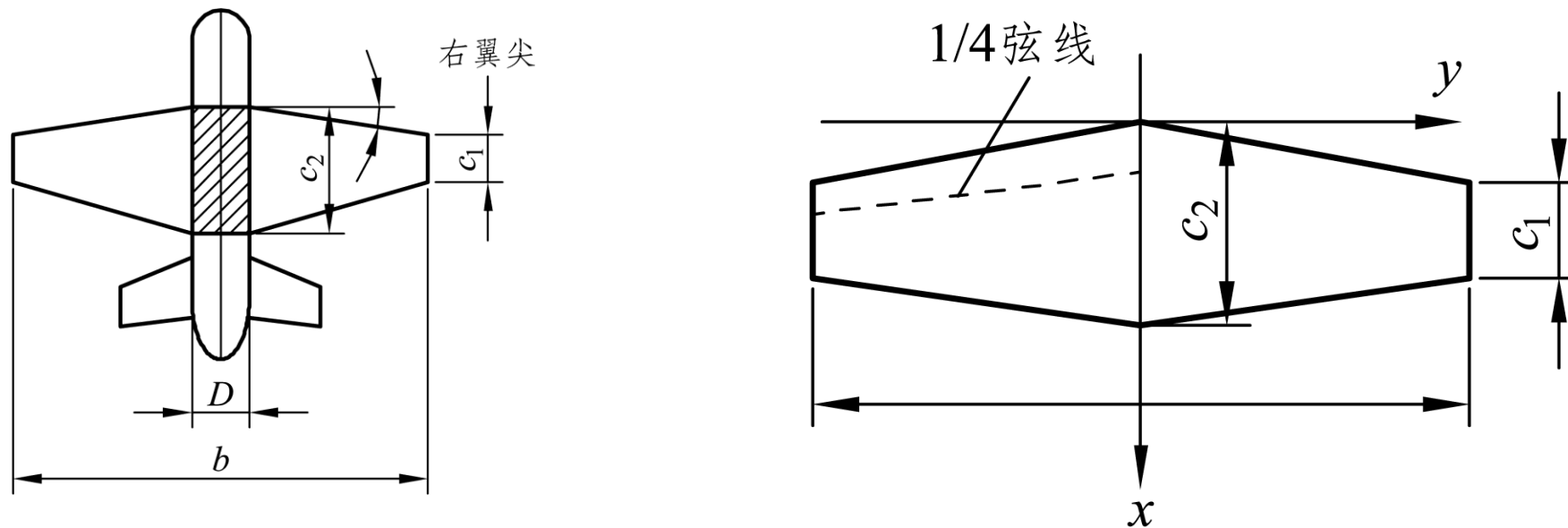


图11-4 梯形翼几何外形

11.1 机翼的几何外形与参数定义

① 机翼面积

当前缘襟翼、襟翼与副翼等装置全收时，机翼在水平面内的投影，称为机翼面积，用符号 S 表示。如果没有特别说明，机翼面积是包括机身占据的那一个部分面积，也就是指全机翼面积

② 翼展长度

机翼左右翼尖之间的横向距离，叫作翼展长度（Span length），又称展长，用符号 b 表示。

③ 弦长

机翼前缘至后缘的距离，称为弦长（Chord length），一般用符号 C 表示。如果机翼的形状不是矩形，在机翼各处的弦长都不相同，机翼的弦长，是展向位置 y 的函数。此时，必须采取平均弦长（Mean chord length）的概念来描述机翼平面形状的特性，而平均弦长又可以分为几何平均弦长与平均空气动力弦长。

11.1 机翼的几何外形与参数定义

a. 几何平均弦长

机翼弦长在翼展上的长度平均值称为几何平均弦长 (Geometric mean chord length) , 用符号 \bar{C} 表示。其计算式为 $\bar{C} = \frac{S}{b}$
式中, \bar{C} 为几何平均弦长, S 为机翼面积, b 为翼展长度。

b. 平均空气动力弦长

与实际机翼面积相等, 气动力矩特性相同的当量矩形机翼的弦长称为平均空气动力弦长 (Mean aerodynamic chord length) , 用符号 C_A 表示, 它是计算空气动力中心位置与纵向力矩系数所常用的基准弦长, 计算公式为 $C_A = \frac{2}{S} \int_0^{\frac{b}{2}} C^2(y) dy$

11.1 机翼的几何外形与参数定义

④ 梯度比

飞机机翼的翼尖弦长与翼根弦长的比值称为梯度比 (Taper ratio) , 用符号 λ 表示。其计算公式为 $\lambda = \frac{C_1}{C_2}$ 式中, λ 为梯度比, C_1 为翼尖弦长, 而 C_2 为翼根弦长。一般机翼梯度比的范围是0~1。

⑤ 展弦比

机翼的翼展长度与几何平均弦长之比值称为展弦比 (Aspect ratio) , 用符号AR表示, 计算公式为 $AR = \frac{b}{c} = \frac{b^2}{bc} = \frac{b^2}{S}$ 式中, b 为翼展长度, \bar{c} 为几何平均弦长, S 为机翼面积, 其值为飞机的翼展长度与几何平均弦长乘积, 也就是 $S = b \times \bar{c}$ 。一般机翼展弦比的范围是2~12。

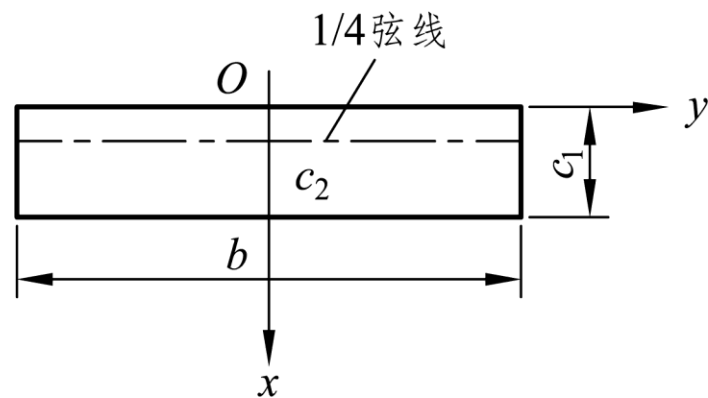
⑥ 后掠角

机翼前缘、后缘以及1/4翼弦点连线与y轴之间的夹角称为后掠角 (Sweep-back angle) , 用符号 θ 表示。现代民航大型客机的机翼均采用梯形及后掠角的设计, 其目的是延迟临界马赫数, 减少或避免激波阻力带来的影响。

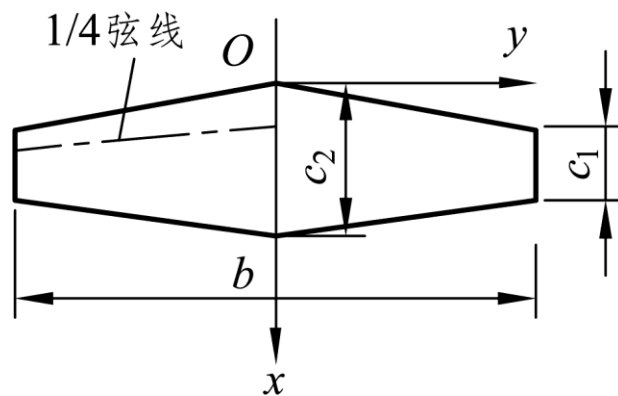
11.1 机翼的几何外形与参数定义

【例11-1】

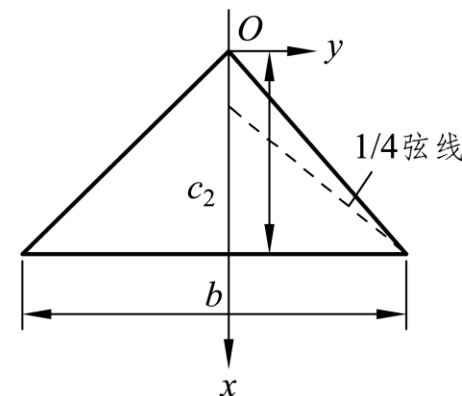
如图11-5所示，(a)、(b)与(c)分别为矩形翼、梯形翼以及三角翼的机翼平面，其机翼面积 S 、平均几何弦长 \bar{c} 与梯度比 λ 分别是什么？



(a) 矩形翼



(b) 梯形翼



(c) 三角翼

图11-5 例11-1图示

11.1 机翼的几何外形与参数定义

【解答】

依题意，矩形翼的机翼面积是 $S = b \times \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) = b \times \bar{C}$

因为 $C_1 = C_2$ ，所以矩形翼的平均几何弦长 $\bar{C} = \frac{S}{b} = \frac{C_1 + C_2}{2}$

也就是 $\bar{C} = C_1 = C_2$ 而梯度比 $\lambda = \frac{C_1}{C_2} = 1$

梯形翼的机翼面积是 $S = b \times \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right)$ ，平均几何弦长 $\bar{C} = \frac{S}{b} = \frac{C_1 + C_2}{2}$ ，梯度比 $\lambda = \frac{C_1}{C_2} = 1$

三角翼的机翼平面是 $S = \frac{b \times C_2}{2}$ ，平均几何弦长 $\bar{C} = \frac{S}{b} = \frac{C_2}{2}$ ，梯度比 $\lambda = \frac{0}{C_2} = 0$

因此，一般机翼梯度比的范围是 $0 \sim 1$ 。

11.1 机翼的几何外形与参数定义

2. 翼型的几何外形

(1) 翼型的定义

机翼横截剖面形状称为翼型 (Wing airfoil)，又称为机翼剖面或翼剖面，而翼型的前缘与后缘连线称为翼型的弦线 (Chord line)，如图11-6所示。

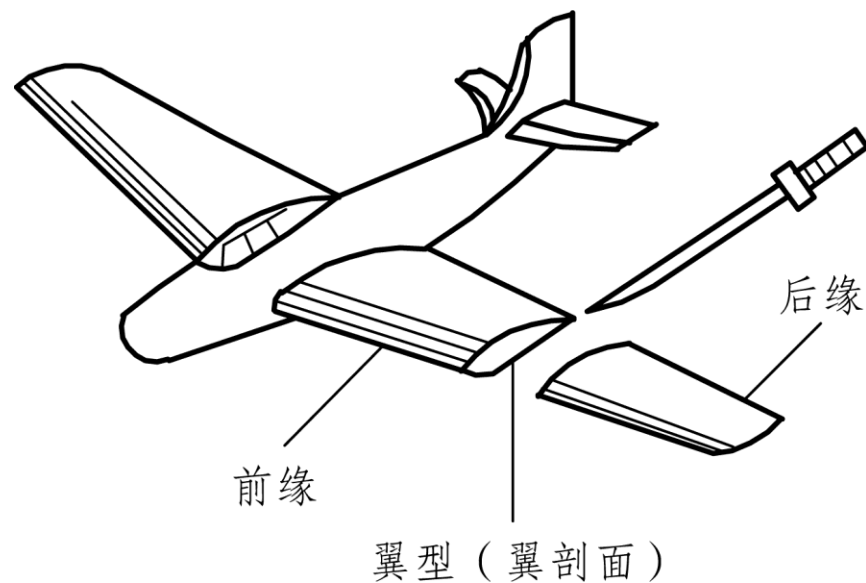


图11-6 翼型的定义

(2) 常见几种翼型的形状

人们通过观察鸟类飞行的现象，制造出早期飞机的弓形翼型，就像飞鸟翅膀的剖面，但是这种翼形阻力较大，而且结构复杂，不易制造。经过不断的研究，发展出各种不同形状的翼型，常用翼型有**平凸形翼型**、**双凸形翼型**、**对称形翼型**、**圆弧形翼型**、**菱形翼型**等，20世纪后期，为了消除激波阻力对翼型的影响，陆续出现了**高亚声速翼型**，例如超临界翼型，如图11-7所示。

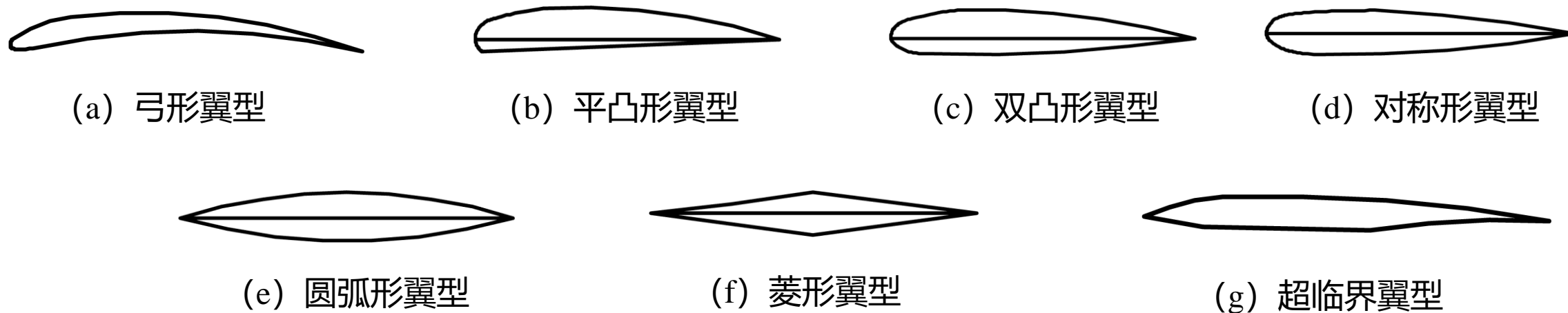


图11-7 常见的几种不同形状的翼型

11.1 机翼的几何外形与参数定义

现代低亚声速飞机的机翼大多采用平凸或双凸翼型，部分的现代高亚声速飞机的机翼和各尾翼采用对称翼型。超声速战斗机一般为对称翼型，高超声速飞机要求薄翼型且具有尖锐的前缘，如双弧形与菱形翼型等，而低超声速飞机由于兼顾各个速度范围的气动特性，目前仍采用小钝头对称翼型。

(3) 描述翼型形状的主要参数

机翼翼型的几何形状，一般使用**弦线**、**中弧线**、**厚度**、**弯度**、**最大厚度位置**以及**最大弯度位置**等参数描述，如图11-8所示。

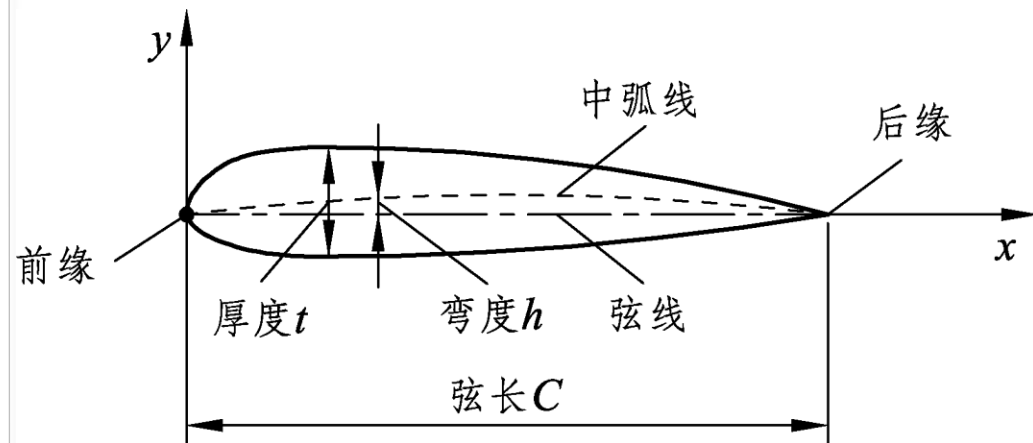


图11-8 翼型（翼剖面）的名词定义

11.1 机翼的几何外形与参数定义

① 弦线

翼型最前端的一点叫翼型的前缘，最后端的一点叫翼型的后缘。从翼型前缘至后缘的连线称为弦线 (Wing chord line)，也叫翼弦。翼型前缘至后缘的距离，也就是弦线的长度，称为几何弦长 (Geometric chord length)，简称弦长 (Chord length)，用符号C表示。

② 中弧线

翼型上下表面垂直线中点的连线称为中弧线 (Mean camber line)。

③ 厚度

翼型上下表面在垂直于翼弦方向的距离，称为翼型的厚度 (Thickness)，用符号t表示。在翼型弦向，也就是在图中x轴方向，厚度最大者称为该翼型的最大厚度 (Maximum thickness)，用符号表示。

11.1 机翼的几何外形与参数定义

④ 弯度

翼型的中弧线与弦线在y轴方向之间的距离称为**弯度** (Camber) , 用符号h表示, 在翼型弦向也就是在图中的x轴方向, **弯度最大者称为该翼型的最大弯度** (Maximum camber) , 用符号 h_{\max} 表示。如果以翼型的弦线作为分界线, 弦线之上的翼型表面称为**上翼面** (Upper wing surface) , 弦线之下的翼型表面称为**下翼面** (Lower wing surface) 。

如果**上翼面与下翼面相互对称**, 则称为**对称翼型** (Symmetrical airfoil) 。在对称翼型中, 翼型的中弧线与弦线彼此重合, 所以翼型的弯度h与最大弯度 h_{\max} 均为0。反之, 如果**翼型的上翼面与下翼面不是相互对称**, 则称为**不对称翼型** (Asymmetric airfoil) , 又称非对称翼型。

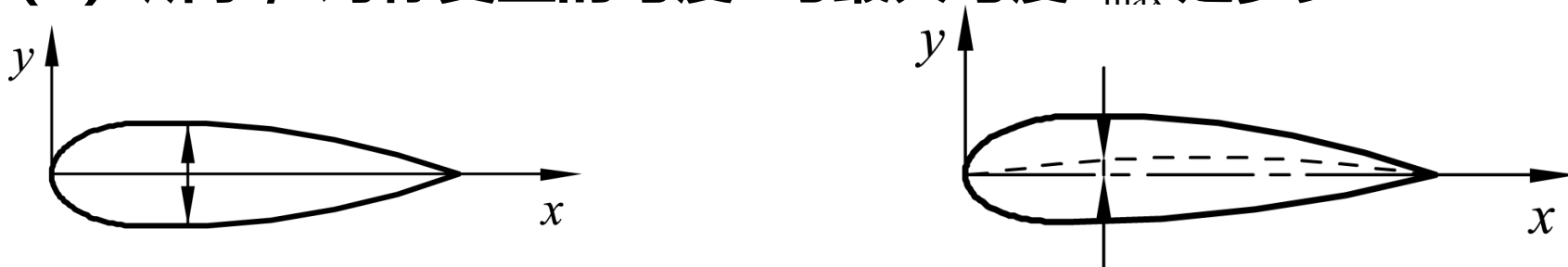
在不对称翼型中, 翼型的中弧线与弦线不重合, 所以翼型的弯度h与最大弯度 h_{\max} 都不为0, 例如弓形翼型、平凸形翼型以及双凸形翼型均为不对称翼型。

11.1 机翼的几何外形与参数定义

- ⑤ **相对厚度**：翼型最大厚度 t_{\max} 与弦长 C 的比值称为相对厚度 (Relative thickness)，通常以百分比表示，也就是翼型的相对厚度为 $\frac{t_{\max}}{c} \times 100\%$
- ⑥ **最大厚度位置**：翼型的最大厚度与翼型前缘在 x 轴方向的距离称为最大厚度位置 (Maximum thickness position)，用符号 $x_{t_{\max}}$ 表示，通常用百分比表示，也就是翼型的最大厚度位置为 $\frac{x_{t_{\max}}}{c} \times 100\%$
- ⑦ **相对弯度**：翼型最大弯度 h_{\max} 与弦长 C 的比值称为相对弯度 (Relative camber)，以百分比表示，也就是翼型的相对弯度为 $\frac{h_{\max}}{c} \times 100\%$ 。在对称翼型中，翼型的中弧线与弦线重合，所以相对弯度为 0。由于现代中高速飞机的翼型通常是对称或微弯的，相对弯度为 0% ~ 2%。
- ⑧ **最大弯度位置**：翼型最大弯度与翼型前缘方向之间的距离称为最大弯度位置 (Maximum camber position)，用符号 $x_{h_{\max}}$ 表示，通常最大厚度位置为 $\frac{x_{h_{\max}}}{c} \times 100\%$

【例11-2】

如图11-9所示，翼型依照上下翼面是否对称，可以分成对称翼型和不对称翼型，对称翼型是上翼面与下翼面对称，如图（a）所示，不对称翼型是上翼面与下翼面不对称，如图（b）所示，对称翼型的弯度 h 与最大弯度 h_{\max} 是多少？



(a) 对称翼型

(b) 非对称翼型

图11-9 例11-2图示

【解答】

对称翼型的上下翼面彼此对称，所以翼型的中弧线与弦线重合，翼型的弯度与最大弯度均为0。

11.1 机翼的几何外形与参数定义

航空小常识：

低亚声速飞机的翼型多为具有一定弯度的双凸形，相对厚度为12%~18%，最大厚度的位置为30%左右。随着飞行速度的提高，翼型的相对厚度逐渐减小，最大厚度的位置逐渐向后移。目前民用运输机翼型的相对厚度为8%~16%，最大厚度的位置为35%~50%。低速飞机翼型的弯度较大，相对弯度为4%~6%，最大弯度位置靠前。

随着飞行速度的提高，翼型的弯度也逐渐减小，高速飞机为减小阻力，大多采用弯度为零的对称翼型。



11.2 翼型系列的命名方式



11.2 翼型系列的命名方式

翼型形状的几个几何参数中，以相对弯度、最大弯度位置以及最大厚度对翼型的气动特性影响最大。NASA在20世纪初根据它们对翼型命名，分为**四位数**与**五位数**命名两种方式。

1. 四位数翼型系列的命名方式

以NACA1315为例，如果以四位数的方式命名，其规则说明如下。

(1) **第一个数字代表的意义**：在四位数翼型系列的命名方式中，NACA后**第一个数字代表的意义是翼型的相对弯度，以百分比表示**，所以第一个数字为1，即表示翼型的相对弯度为1%。

(2) **第二个数字代表的意义**：在四位数翼型系列的命名方式中，NACA后**第二个数字代表的意义是翼型的最大弯度位置，以弦长的10分数比表示**，所以第二个数字为3，即表示翼型的最大弯度位置是弦长的 $3/10$ 倍，也就是0.3倍弦长。

(3) **第三与第四个数字代表的意义**：在四位数翼型系列的命名方式中，NACA后**第三与第四个数字代表的意义为翼型的相对厚度，以弦长的百分比表示**，所以第三数字为1、第四个数字为5，代表此翼型的相对厚度是15%。

11.2 翼型系列的命名方式

2. 五位数翼型系列的命名方式

以NACA23012为例，如果以五位数的方式命名，其规则说明如下。

(1) 第一个数字代表的意义

和四位数翼型命名方式相同，在五位数翼型系列的命名方式中，**第一个数字代表的是翼型的相对弯度，以百分比表示**，所以第一个数字为2，即表示翼型的相对弯度为2%。

(2) 第二与第三个数字代表的意义

在五位数翼型系列的命名方式中，NACA后**第二个与第三个数字代表的是翼型的最大弯度位置，以弦长的200分数表示**。第二个数字是3，第三个数字是0，所以翼型的最大弯度位置是弦长的 $30/200$ 倍，也就是0.15倍弦长。

(3) 第四与第五个数字代表的意义

在五位数翼型系列的命名方式中，NACA后**第四与第五个数字代表的是翼型的相对厚度**，所以在NACA后第四数字是1、第五个数字是2，代表此翼型的相对厚度是12%。

11.2 翼型系列的命名方式 定义

【例11-3】

什么是“NACA 2412 airfoil”？

【解答】

依题意，此命名方式是四位数翼型的命名方式。依其命名的规则可知，在NACA后第一个数字为2，代表此翼型的相对弯度是2%；第二个数字为4，代表最大弯度位置是弦长的4/10倍，也就是0.4倍弦长；第三数字是1、第四个数字是2，代表此翼型的相对厚度是12%。

所以“NACA 2412 airfoil”代表的是相对弯度为2%、最大弯度位置为弦长的0.4倍以及相对厚度为12%的不对称翼型。



11.3 翼型迎角的概念



11.3 翼型迎角的概念

迎角是飞机飞行最重要的气动力角，与飞行性能息息相关，甚至影响飞机的飞行安全，这里再次做重点介绍。

1. 迎角的定义

如图11-10所示，迎角是翼型的弦线与来流方向之间的夹角，用符号 α 表示。

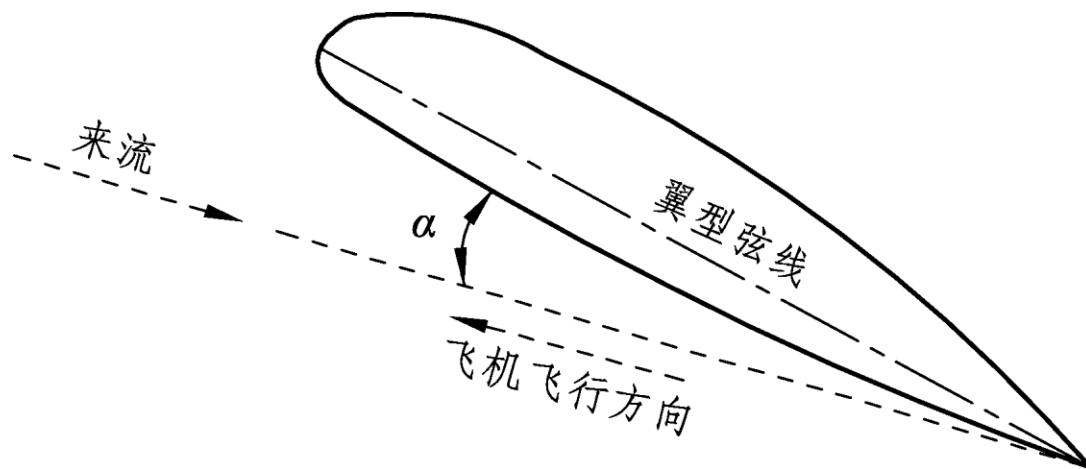


图11-10 翼型迎角

11.3 翼型迎角的概念

2. 迎角角度的正负定义

根据翼型的弦线与来流的位置关系，迎角可以分为正迎角、零迎角和负迎角。如果弦线在来流之上，此迎角称为正迎角，如图11-11 (a) 所示。翼型的弦线与来流重合时，迎角为0，称为零迎角，如图11-11 (b) 所示。如果弦线在来流之下，此迎角称为负迎角，如图11-11 (c) 所示。

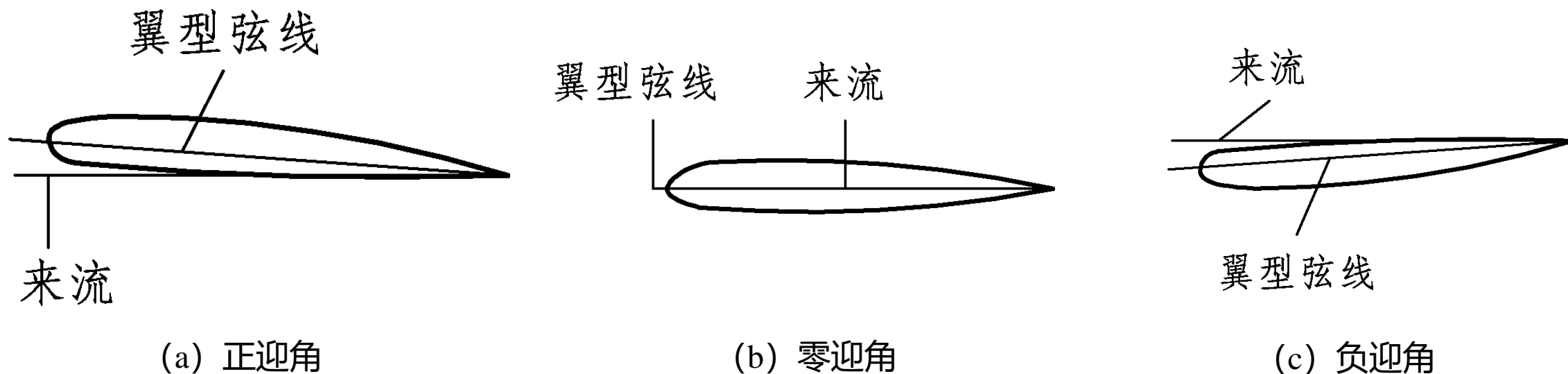


图11-11 正负迎角定义

【例11-4】

何谓临界迎角与临界马赫数？试述两者间的差异。

【解答】

飞机在低迎角的时候，升力随着迎角的增加而增加，但是迎角到达某一角度值时，升力突然下降，产生失速，在飞机开始失速时相应的迎角值即称为临界迎角。

由于流经翼型气流的局部加速作用，飞机在接近声速飞行时，只要飞行速度达到某一个速度值，上翼面气流的局部速度就会达到声速，从而产生局部激波，在飞机开始产生局部激波时相应的飞行速度值即称为临界马赫数。

临界迎角是指飞机飞行迎角开始失速的临界值，只要飞行迎角到达或超过此临界值就会产生失速；临界马赫数是飞机飞行速度开始产生局部激波的临界值，飞机在接近声速飞行时，只要飞行速度到达或超过此临界值，上翼面的气流就会产生局部激波。



11.4 翼型表面的压力分布



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/408074105133007002>