

无人系统设计

课 程：软件工程专业-专业实践类课程

学 分：3

总课时：48

课程参考教材：

《认识飞行（第二版）》 / 《Understanding Flight, 2nd》

作者：David F. Anderson, Scott Eberhardt

译者：周尧明（2019年） / 韩莲（2011年）

北京联合出版公司2019.07 / 航空工业出版社2011.01

授课教师：王赓

课程助教：李旭辉、蒋李康、方俊杰、张源娣、范文婷、曹恺洋、杨道

课程主要内容

- (1) 认识飞行
 - ▣ 牛顿力学（作用力与反作用力）
 - ▣ 刚体转动（转矩、陀螺、进动） / 大学物理基础
- (2) 认识多种多样的无人飞行系统
 - ▣ 飞行原理
 - ▣ 动力技术（螺旋桨、喷气式）
- (3) 控制技术
 - ▣ 飞行操纵原理（机翼、襟翼、旋翼、尾桨、自动倾斜器）
 - ▣ 作动器（电动机、舵机（PWM调制））
 - ▣ 传感器（电子指南针、加速度计、陀螺仪、GPS、高度计、高速相机、全景相机、……）
 - ▣ 电子控制器（PID算法、飞行控制原理与算法）
- (4) 飞行性能（飞行性能指标体系、稳定性、可靠性、易操作性）

课程主要内容

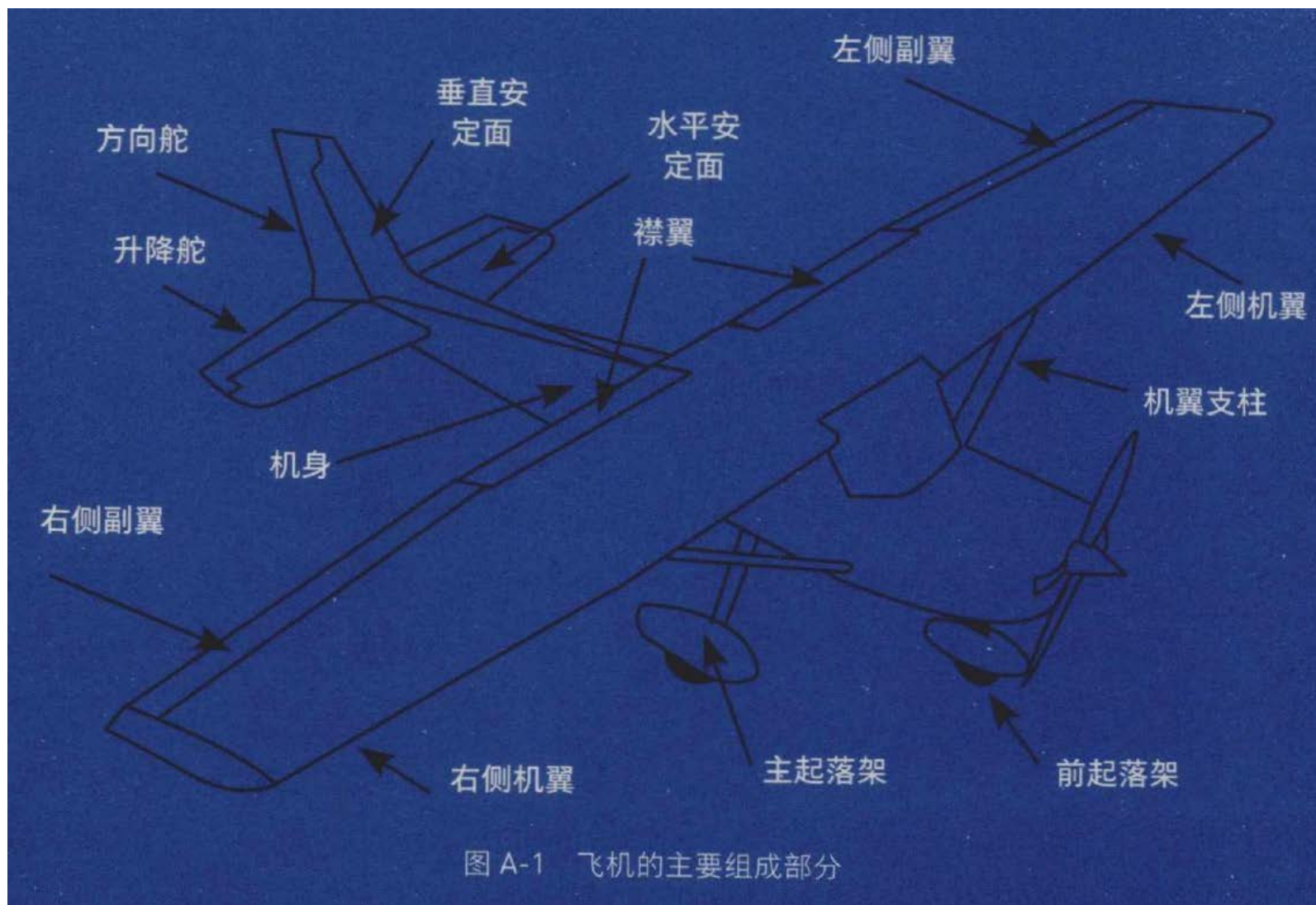
- (5) 基于4旋翼、固定翼模型机的认知验证实验
(含早期自由组合发现学习过程)
- (6) 仿真技术
 - ▣ 飞行器建模 (动力学、运动学) / 大学物理基础、高等数学
 - ▣ 软件技术 (Unity3D、MATLAB/Simulink)
- (7) 仿真技术实践 (半实物)
 - ▣ 无人AI战机模拟格斗对抗系统
 - ▣ 软件技术 (Unity3D、MATLAB/Simulink、图像处理技术、人工智能AI技术、计算加速技术
- (8) 发挥想象力和所学的自由拓展设计 (理论设计/尽量据情实验验证)
- (9) 课程综合设计与答辩

认识飞行

- 认识飞行的目的，是为了控制飞行（AI对抗...）
- 认识飞机（固定翼飞机、直升机（安排在后面）、旋翼机（不同于直升机））
- 飞机的构造及结构称谓
- 飞机的操控
- 了解模拟飞机的控制操纵



飞机的主要组成部分



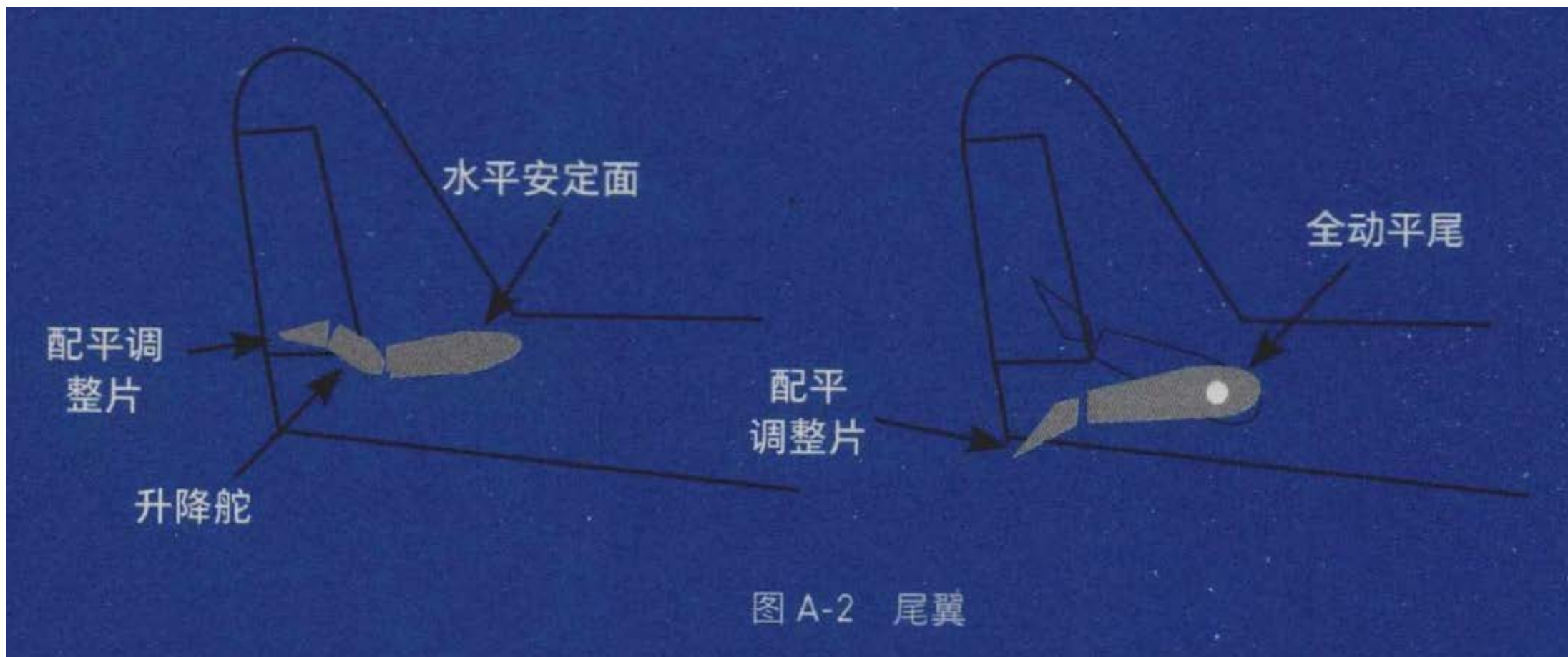
- 机翼
- 副翼
- 襟翼
- 安定面
- 升降舵
- 方向舵
- 机身
- 起落架

飞机的主要组成部分

图 A-1 显示了一架上单翼飞机的主要组成部分。飞机机体 (airframe) 由机身 (fuselage)、机翼 (wings) 和尾翼 (empennage 或 tail feathers) 组成, 其中机身是飞机的主要组成部分。尾翼由水平安定面 (horizontal stabilizer)、升降舵 (elevator)、垂直安定面 (vertical stabilizer) 和方向舵 (rudder) 构成。升降舵用于调整、控制飞机的俯仰 (pitch, 指飞机抬头或低头的姿态)。升降舵与飞机的驾驶盘或驾驶杆相连, 驾驶员通过前后移动驾驶盘或驾驶杆来调节升降舵。在有些飞机上, 整个水平安定面就是一个升降舵, 如图 A-2 所示, 这就是所谓的全动平尾 (stabilator)。方向舵用于修正飞机航向和小角度转向。驾驶舱地面上的两个脚踏板操纵方向舵, 用于方向辅助控制。

- 机翼
- 副翼
- 襟翼
- 安定面
- 升降舵
- 方向舵
- 机身
- 起落架

尾翼



■ 尾翼

■ 升降舵

■ 配平调整片

尾翼

大部分飞机升降舵的后缘处有一个铰接小翼面，有时方向舵后缘处也有，这就是配平调整片（trim tab），如图 A-2 所示。调整片的运动方向与操纵面的运动方向相反，其目的是减小飞行员操纵驾驶盘的力，以使飞行员保持飞机理想的飞行姿态。

■ 尾翼

■ 升降舵

■ 配平调整片（助力）

副翼、襟翼

大多数现代飞机都是单翼机，机翼安装在机身上部或下部。大多数上单翼飞机的机翼由支柱（strut）支撑，采用支柱可以减轻机翼的重量，但其代价是增加了阻力（支柱阻碍了气流的流动）。

机翼后缘外侧的可移动操纵面是副翼（aileron），用于控制飞机的滚转（roll control，绕机身中心轴的旋转运动）。副翼由驾驶盘的转动或者驾驶杆的左右移动来操纵。两侧的副翼是耦合的，当一侧的副翼向上摆动时，另一侧的副翼向下摆动。我们将在下面详细讨论控制面。

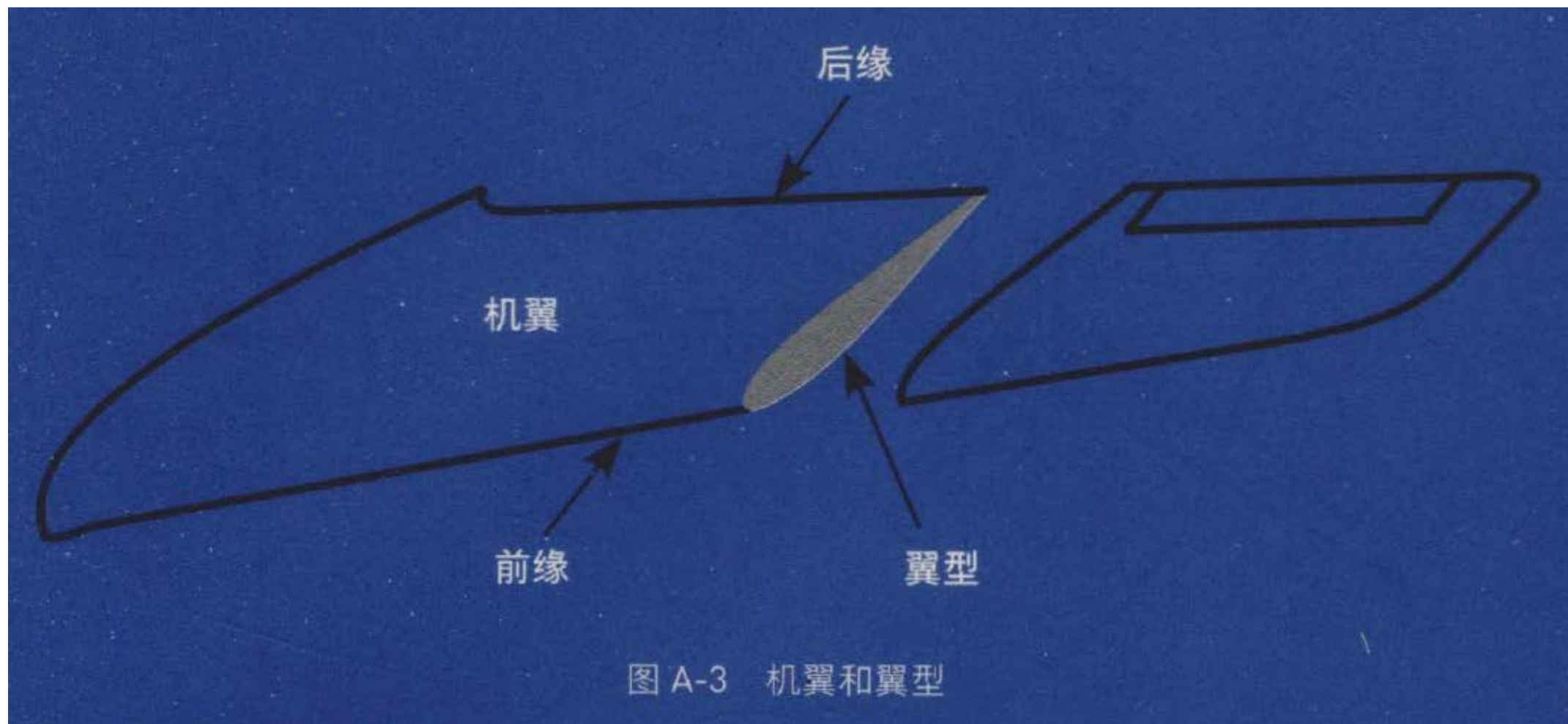
机翼后缘内侧的铰接翼面是襟翼（flap），用于在低速飞行时产生更大的升力，同时在着陆时增大阻力。这部分增大的阻力有助于降低飞机的着陆速度，从而增大着陆进场角度。本书第2章中详细讨论了襟翼。

前、后 三点式起落架

小型飞机有两种起落架布置形式：前三点式起落架（tricycle landing gear）和后三点式起落架（tail dragger）。前三点式起落架的主起落架（main landing gear）位于飞机平衡中心的后侧，前侧有一个可转向的前起落架（nose gear）；后三点式起落架的主起落架位于飞机平衡中心的前侧，后侧有一个小的可转向尾轮（tail wheel）。两种布置形式中的前起落架和尾轮都由方向舵踏板操纵。

- 思考：两种布局分别有何不同的特点？留意过自己乘坐过的飞机的起落架布局吗？见过几种？

机翼与翼型



■ 翼弦线 ■ 中弧线 ■ 迎角 ■ 展弦比 ■ 翼展 ■ 几何弦长

机翼与翼型

翼型 (airfoil) 是机翼的剖面形状。如图 A-3 所示, 翼型可以看作是从横截面上截取的机翼薄片。除了机翼之外, 螺旋桨和尾翼也有翼型。航空工程师在讨论时会交替使用机翼和翼型这两个术语, 然而翼型仅仅是一个机翼薄片的形状, 和机翼不是同一个概念。对于有些机翼而言, 在翼展方向的不同位置会采用不同的翼型。

■ 翼弦线 ■ 中弧线 ■ 迎角 ■ 展弦比 ■ 翼展 ■ 几何弦长

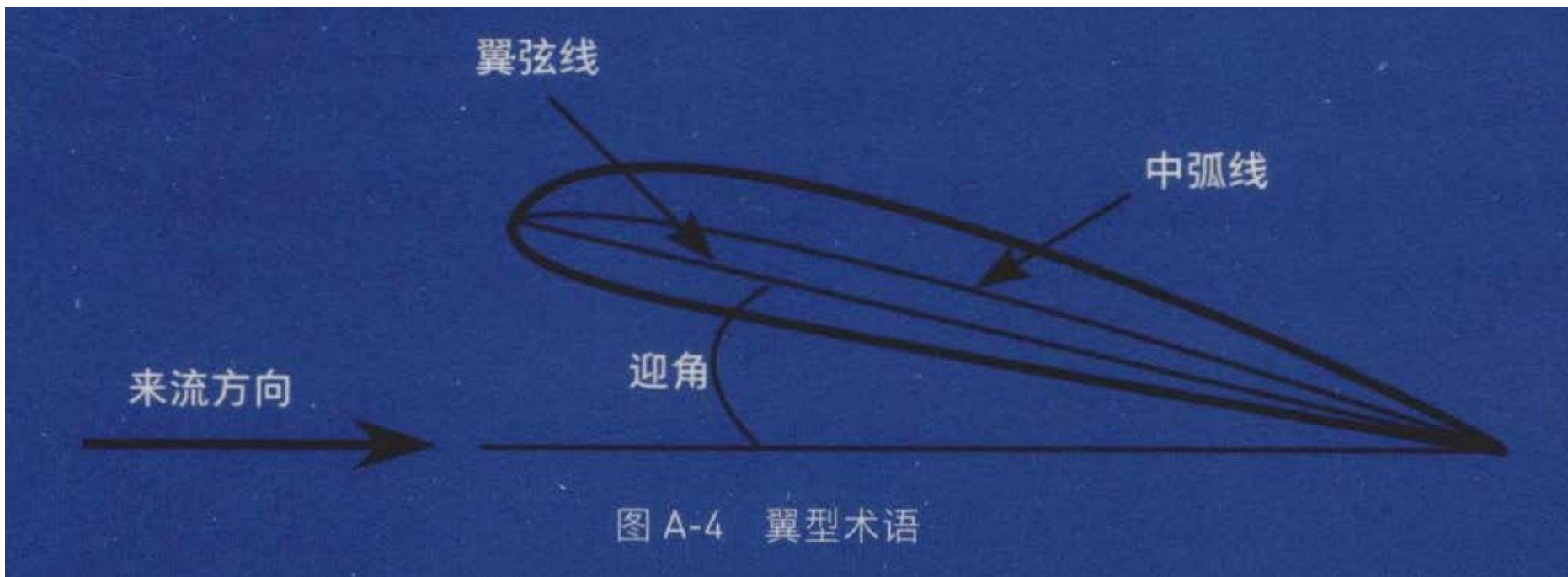
机翼与翼型

如图 A-3 所示，机翼有前缘（leading edge）和后缘（trailing edge）。图 A-4 给出了翼型的详细特征，包括翼弦线和中弧线。翼弦线是一条虚构的连接机翼前缘和后缘的直线，用于确定机翼的几何迎角（geometric angle of attack）和机翼面积。

中弧线（mean camber line）是到机翼上下表面距离相等的一条曲线，机翼弯度就是中弧线的曲率。中弧线曲率很大的翼型的机翼被称作大弯度机翼（highly cambered wing）。对称翼型的弯度为零。

■ 翼弦线 ■ 中弧线 ■ 迎角 ■ 展弦比 ■ 翼展 ■ 几何弦长

机翼与翼型



如图 A-4 所示，能够产生升力的翼型必然有迎角。来流方向是指机翼前方的气流向机翼运动的方向，与机翼的运动方向平行，并且其速度与机翼的速度相同。在航空航天中，几何迎角的定义是翼弦线和前方来流方向的夹角。

■ 翼弦线 ■ 中弧线 ■ 迎角 ■ 展弦比 ■ 翼展 ■ 几何弦长

机翼与翼型

机翼上一个重要的指标是展弦比 (aspect ratio)。展弦比是指机翼翼展 (span) 和平均几何弦长 (mean chord length) 之比，其中，翼展是机翼一侧翼尖到另一侧翼尖的距离，平均几何弦长是沿翼展方向翼弦线长度的平均值。机翼面积等于翼展乘上平均几何弦长。大多数小型通用飞机的机翼展弦比在 $6 \sim 8$ 之间，这意味着机翼的长度是其平均宽度的 $6 \sim 8$ 倍。

■ 展弦比 $6 \sim 8$ 怎么来的？

■ 翼弦线 ■ 中弧线 ■ 迎角 ■ 展弦比 ■ 翼展 ■ 几何弦长

认识飞机

- 其他更多内容，请仔细阅读教材附录相关内容。

- 看几段录像：“飞行原理”

关于飞机操控

- FlightGear开源飞行模拟软件
- <https://www.flightgear.org/>
- <http://www.flightgear.org.cn/>



课程主要内容

- (1) 认识飞行
 - ▣ 牛顿力学（作用力与反作用力）
 - ▣ 刚体转动（转矩、陀螺、进动） / 大学物理基础
- (2) 认识多种多样的无人飞行系统
 - ▣ 飞行原理
 - ▣ 动力技术（螺旋桨、喷气式）
- (3) 控制技术
 - ▣ 飞行操纵原理（机翼、襟翼、旋翼、尾桨、自动倾斜器）
 - ▣ 作动器（电动机、舵机（PWM调制））
 - ▣ 传感器（电子指南针、加速度计、陀螺仪、GPS、高度计、高速相机、全景相机、……）
 - ▣ 电子控制器（PID算法、飞行控制原理与算法）
- (4) 飞行性能（飞行性能指标体系、稳定性、可靠性、易操作性）

课程主要内容

- (5) 基于4旋翼、固定翼模型机的认知验证实验
(含早期自由组合发现学习过程)
- (6) 仿真技术
 - ▣ 飞行器建模（动力学、运动学）/大学物理基础、高等数学
 - ▣ 软件技术（Unity3D、MATLAB/Simulink）
- (7) 仿真技术实践（半实物）
 - ▣ 无人AI战机模拟格斗对抗系统
 - ▣ 软件技术（Unity3D、MATLAB/Simulink、图像处理技术、人工智能AI技术、计算加速技术
- (8) 发挥想象力和所学的自由拓展设计（理论设计/尽量据情实验验证）
- (9) 课程综合设计与答辩

Question & Answer

任何疑问和建议，请不要犹豫！

王 赓: wgeng@sjtu.edu.cn