



M1.2 空气动力学基础

修订批准页:


1

版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/日期	审批/日期
R0	2020.06.16	单展	新编课件	谈海军 /2020.08.01	张玉 /2020.08.06
R1	2021.01.29	单展	修订课件	谈海军 /2021.02.01	张玉 /2021.02.02
R2	2021.7.26	单展	修订课件	谈海军 /2021.07.26	张玉 /2021.07.27
R3	2021.9.13	张玉	修订课件	谈海军 /2021.09.28	张玉 /2021.11.12
R4	2022.5.08	张玉	修订课件	谈海军 /2022.05.19	张玉 /2022.05.19

目的与要求:

目的	通过本课程学习，掌握空气动力学知识，掌握升力的产生，航空器在空中飞行的基本状态。
要求	<ol style="list-style-type: none">1. 掌握空气动力学基础知识。2. 掌握飞机在空气中飞机的基本状态。3. 掌握中低速飞机的飞行特点。4. 掌握高速飞机的飞行特点。5. 了解现阶段飞机飞行上限的原因。

课程安排:

A faint, light-colored image of a commercial airplane is visible in the background, centered behind the table.

序号	内容	课时	试题数量
1	大气环境	1H	1
2	空气动力学基本原理	2H	2
3	机翼几何外形和参数	1H	1
4	作用在飞机上的空气动力	2H	2
5	高速飞行基本特点	2H	2

目 录

1.2.1

大气环境

1.2.2

空气动力学基本原理

1.2.3

机翼几何外形和参数

1.2.4

作用在飞机上的空气动力

1.2.5

高速飞行基本特点



1.2.1 大气环境 (1H)

目 录

1

大气的组成

2

大气层的结构

3

大气的重要物理参数

4

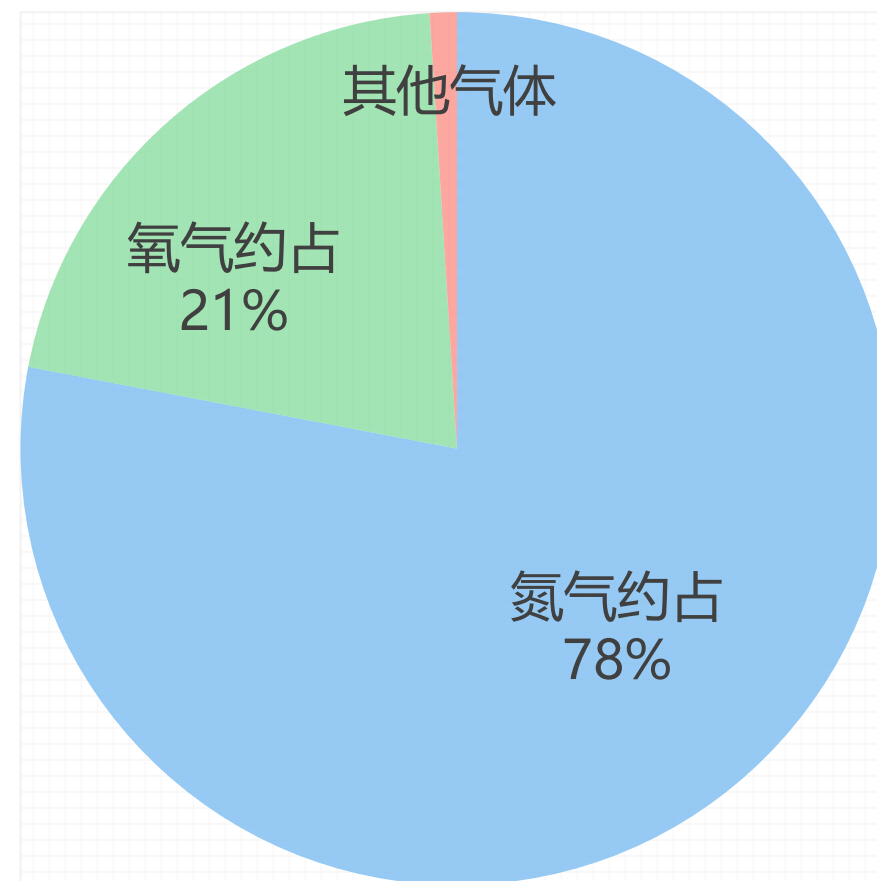
国际标准大气 (ISA)

1、大气的组成

- 氩、二氧化碳、氖、氦、氙、氢等
- 组分是不稳定的
- 某种成分含量过多，或减少，都可能 **给人类造成危害**

体积百分比

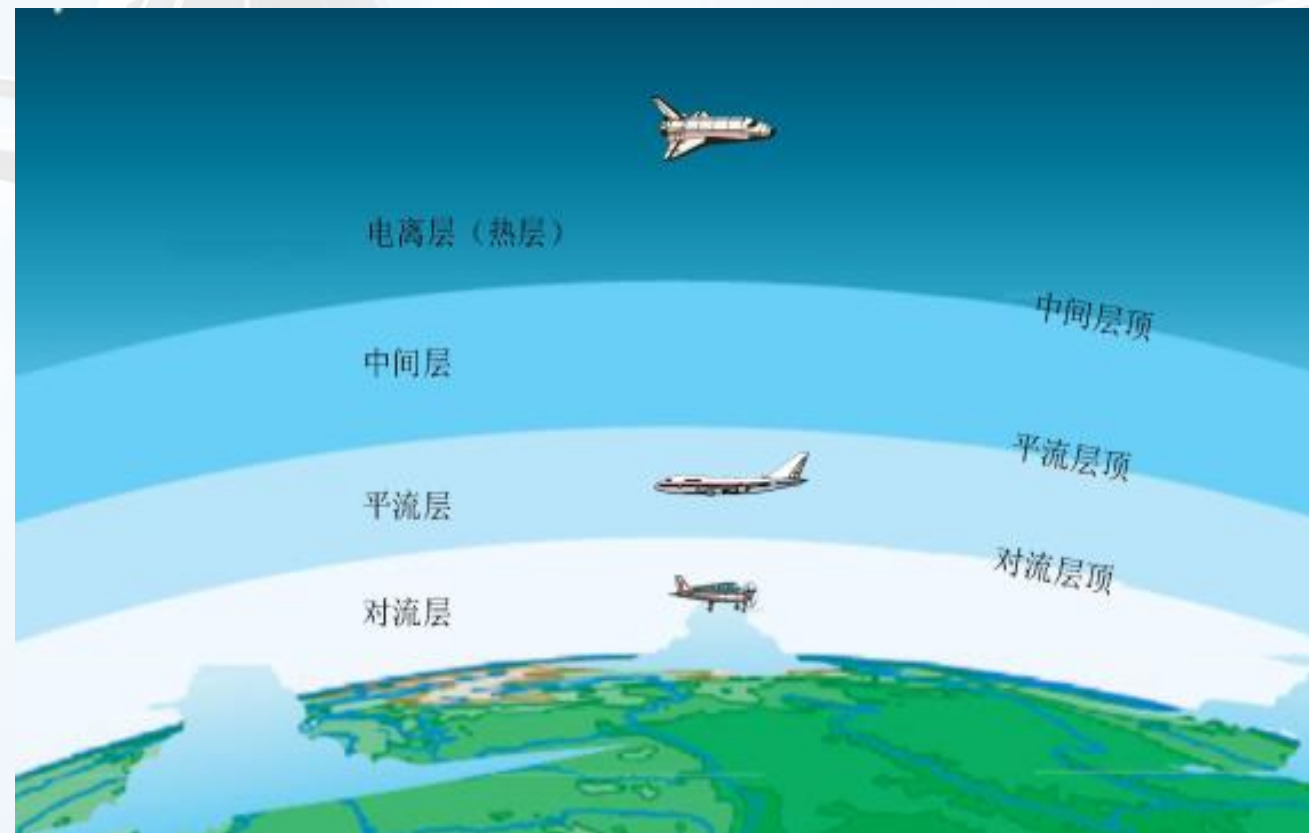
■ 氮气 ■ 氧气 ■ 其他气体 ■ 水蒸气和尘埃颗粒



2、大气层的结构

□ 按大气温度随高度分布特征分为：

- 1) 对流层
- 2) 平流层
- 3) 中间层
- 4) 热层
- 5) 散逸层



2、大气层的结构

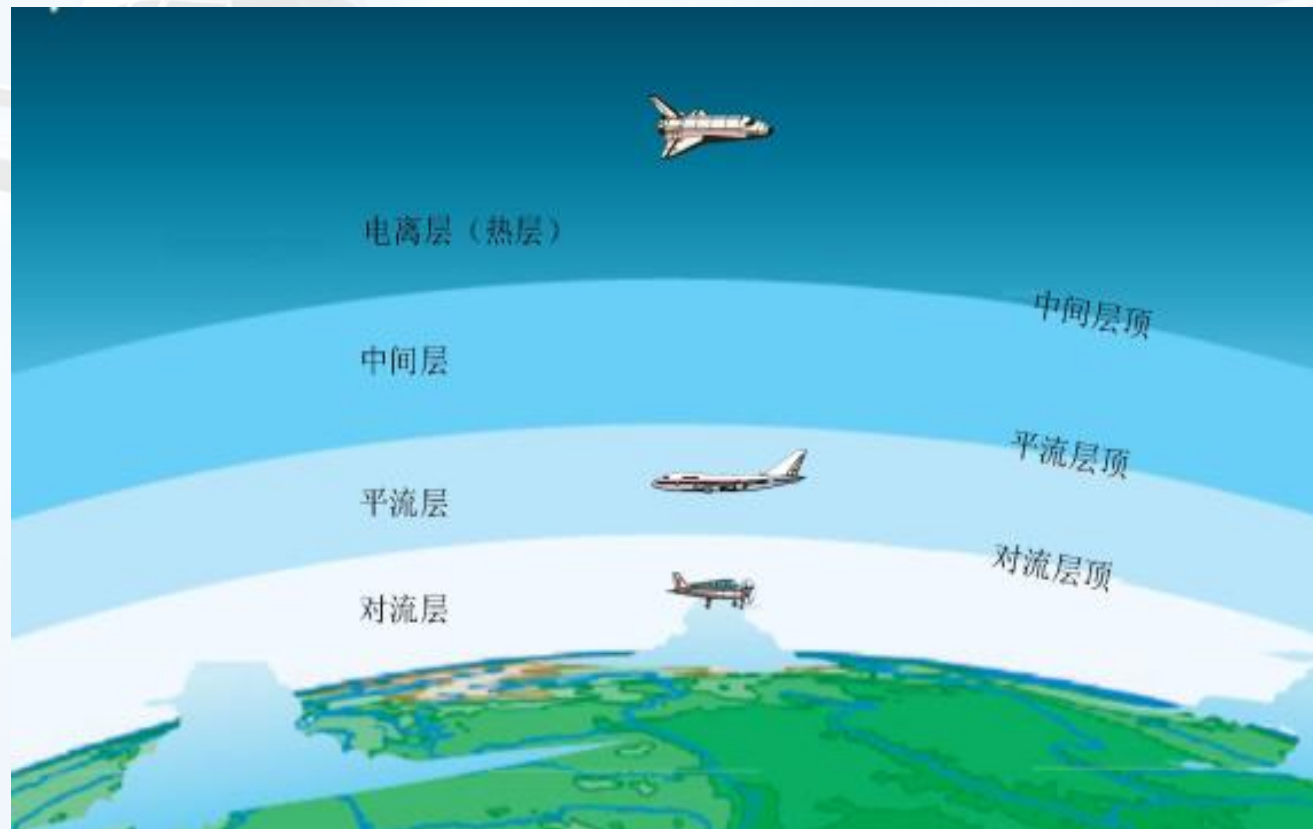
1) 对流层

□ 0—11 KM，赤道高，两极低

□ 天气复杂

□ $H\uparrow, P\downarrow, \rho\downarrow, T\downarrow, a\downarrow$

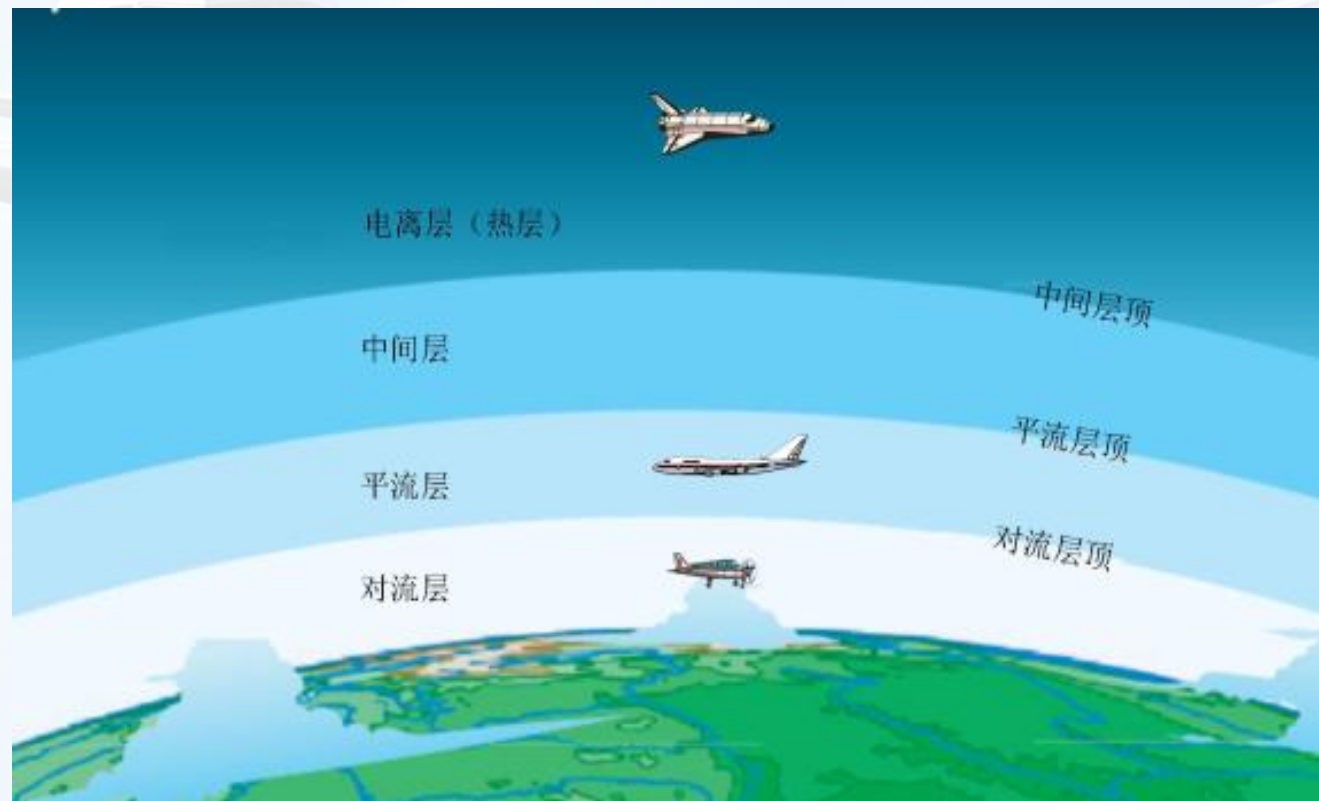
□ 航空器活动的主要区域



2、大气层的结构

2) 平流层

- 11-50KM
- 同温层 (11-20KM) , -56.5°C
- 顶部温度 0°C 左右
- 没有垂直气流
- **空气稀薄, 阻力小**
- **航空器活动的主要区域**



2、大气层的结构

3) 中间层

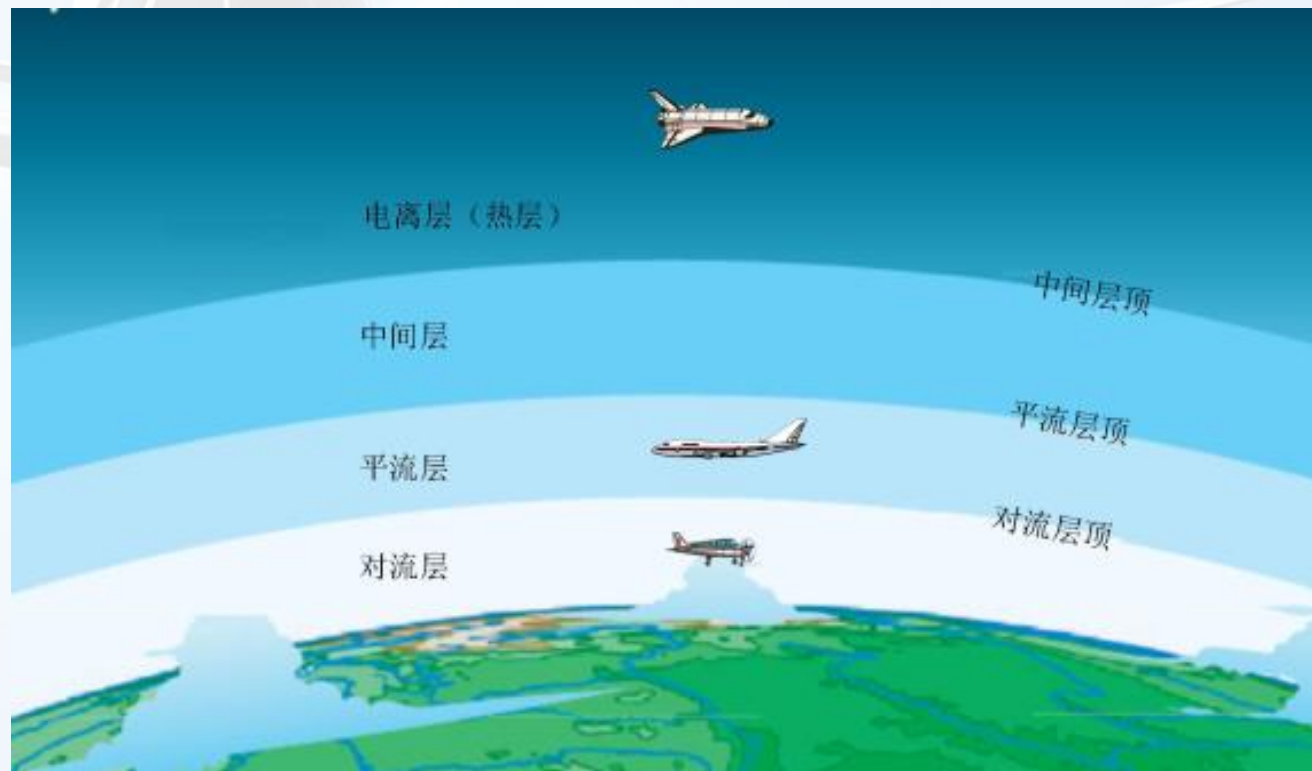
□ 50-85KM

□ $H\uparrow, T\downarrow$

□ 顶部温度约为 -80°C

□ 强的垂直对流

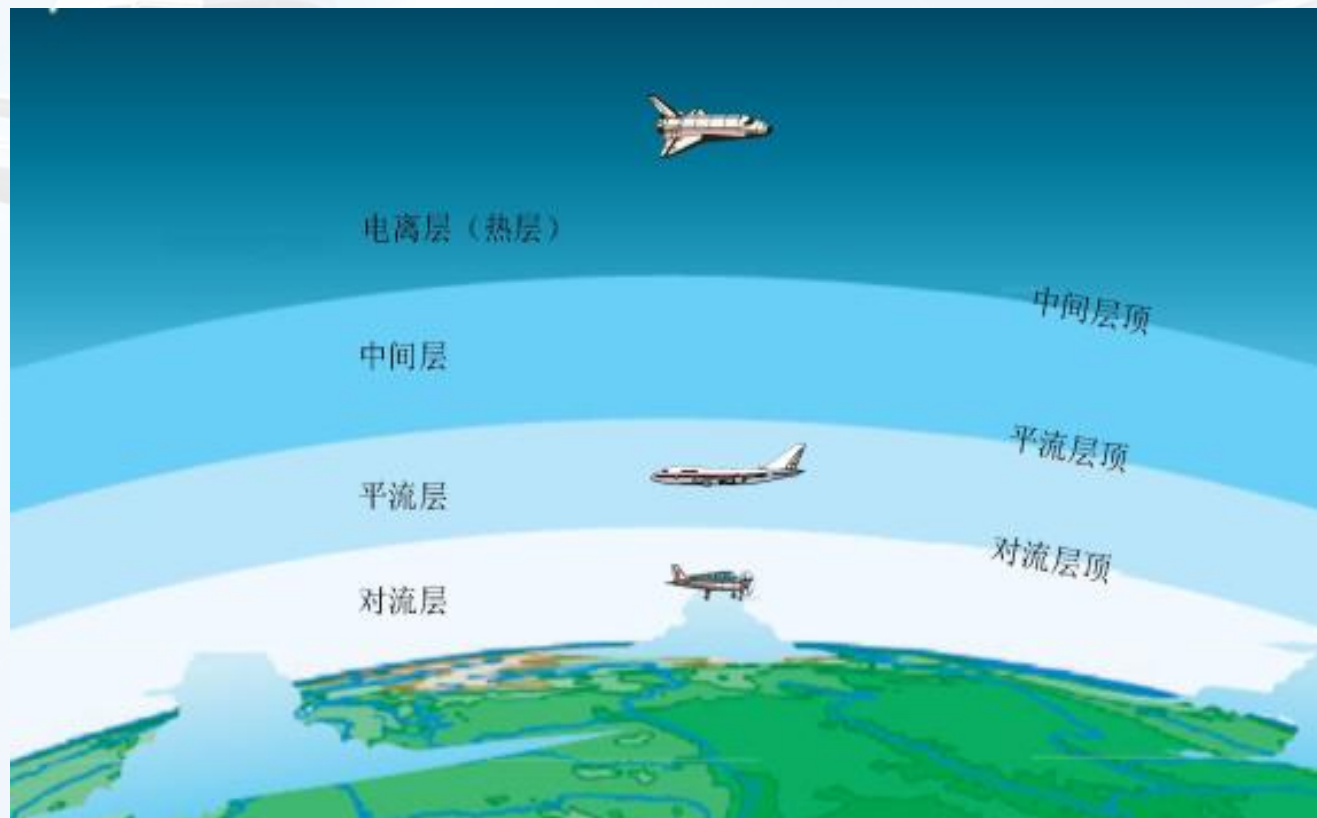
□ 空气十分稀薄



2、大气层的结构

4) 电离层（热层）

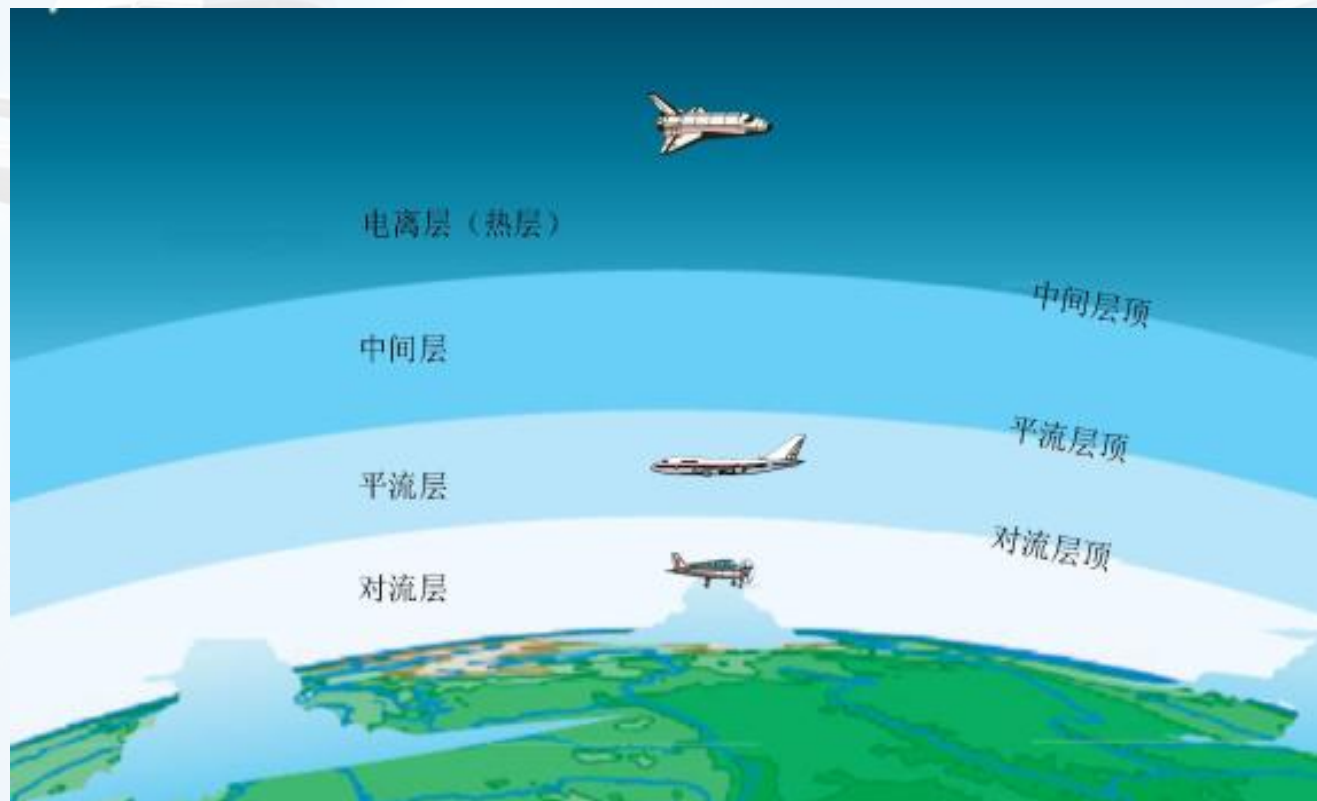
- 85-800KM
- 空气处于电离状态
- 温度很高
- $H\uparrow, T\uparrow$
- 导电性强
- 吸收、反射和折射无线电波
- 空气极稀薄，声波无法传播



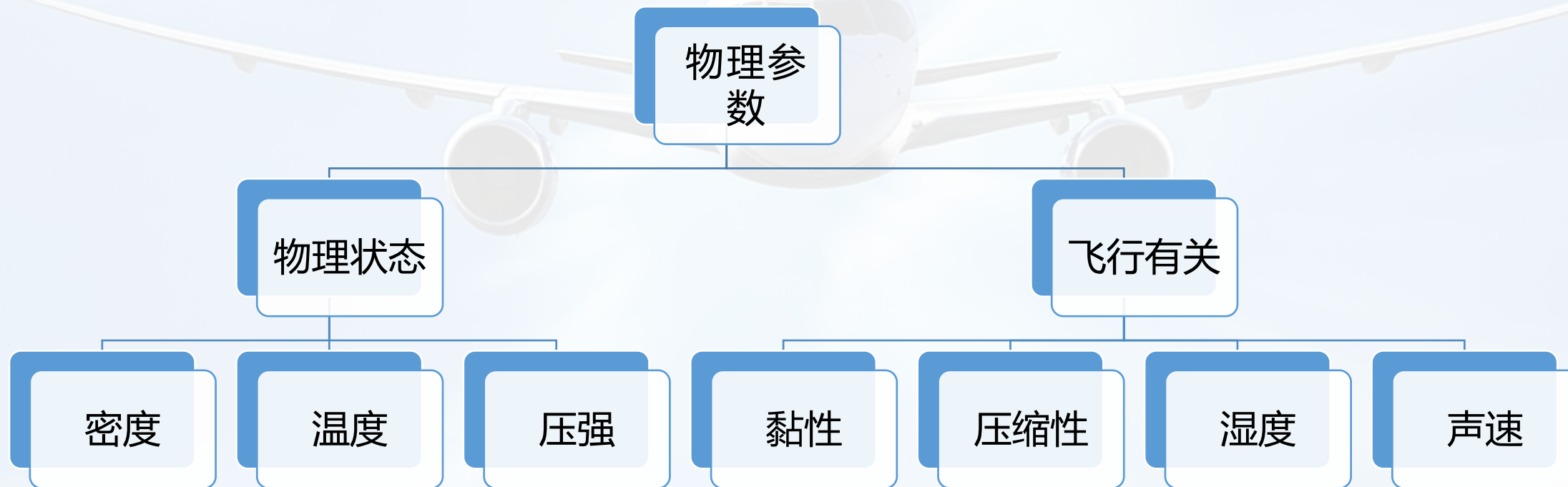
2、大气层的结构

5) 散逸层

- 电离层顶部到大气层外缘
- 很厚的过渡层
- $H\uparrow, T\uparrow$
- 散逸层外即为宇宙空间



3、大气的重要物理参数



大气分子运动的动能以压力和热能的形式表现出来

3、大气的重要物理参数

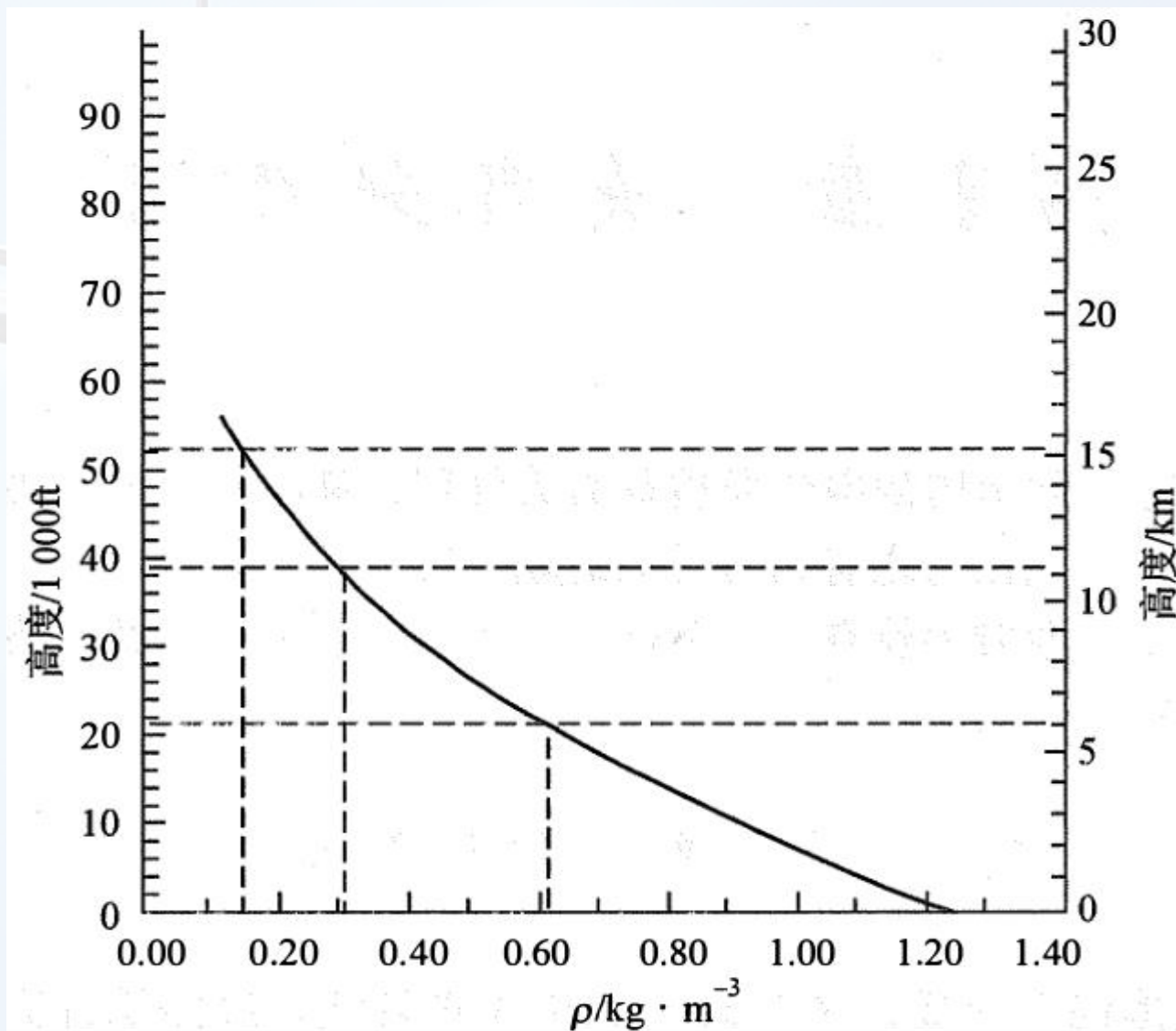
1) 大气密度

□ $\rho = m/V$

□ 是空气稠密的程度

□ $H\uparrow, \rho\downarrow$

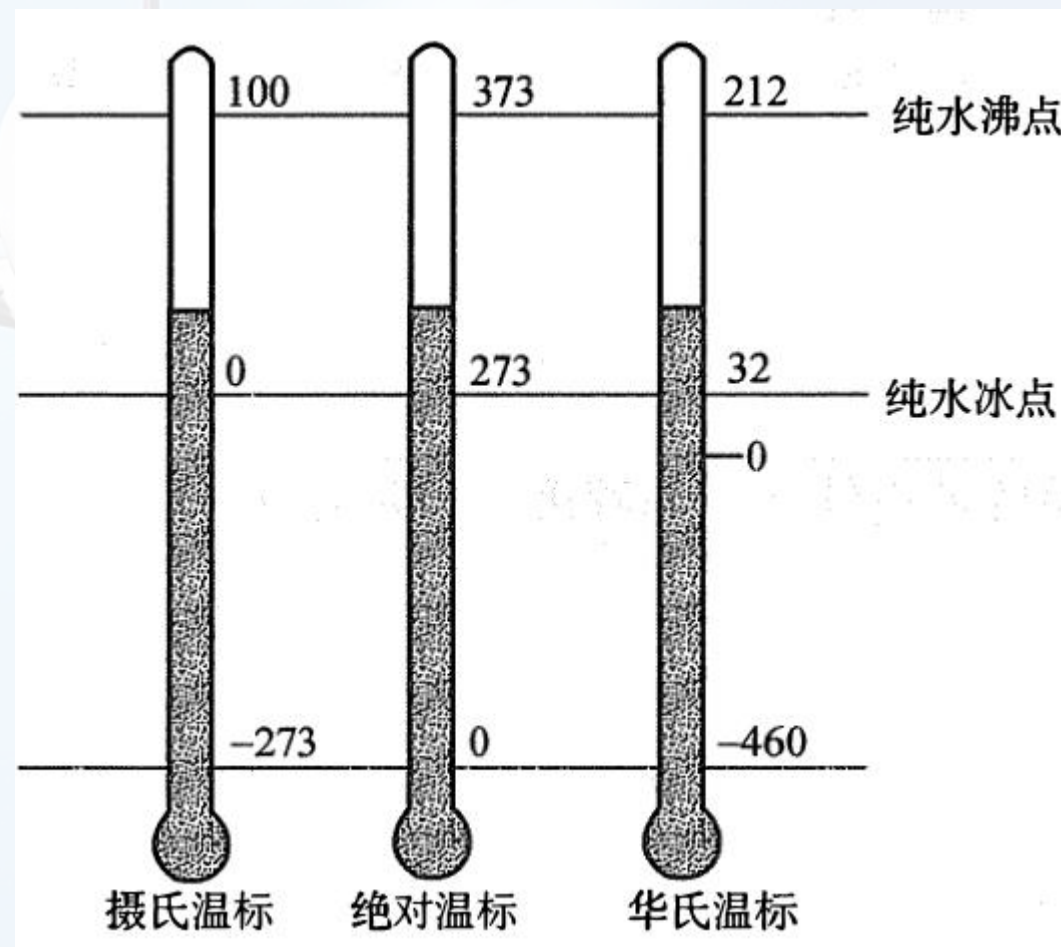
□ 近似按指数曲线变化



3、大气的重要物理参数

2) 大气温度

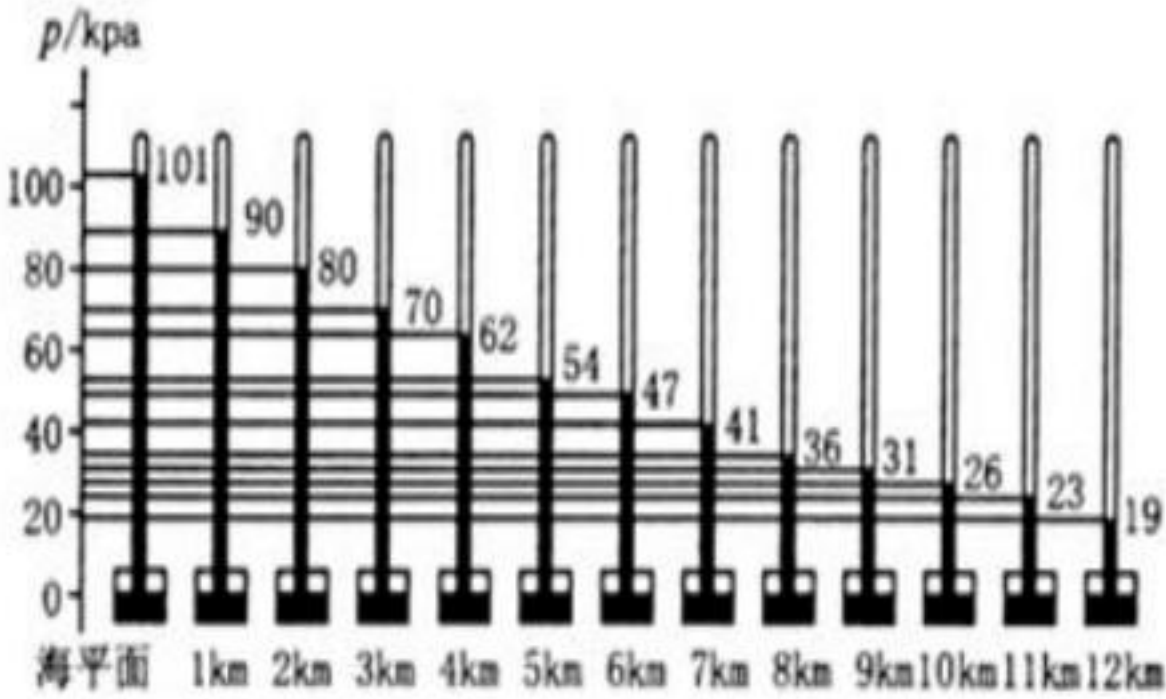
- 空气的冷热程度
- 不规则热运动平均速度的大小
- 对流层，**H↑, T↓**, 6.5 °C/1KM
- 3种温标
- $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$
- $^{\circ}\text{C} = 5(\text{^{\circ}\text{F}} - 32)/9$



3、大气的重要物理参数

3) 大气压强

- 单位面积上承受的空气的垂直作用力
- 由空气重力和不规则热运动产生
- $H\uparrow, P\downarrow$
- 气压单位: Pa、mmHg, inHg、PSI

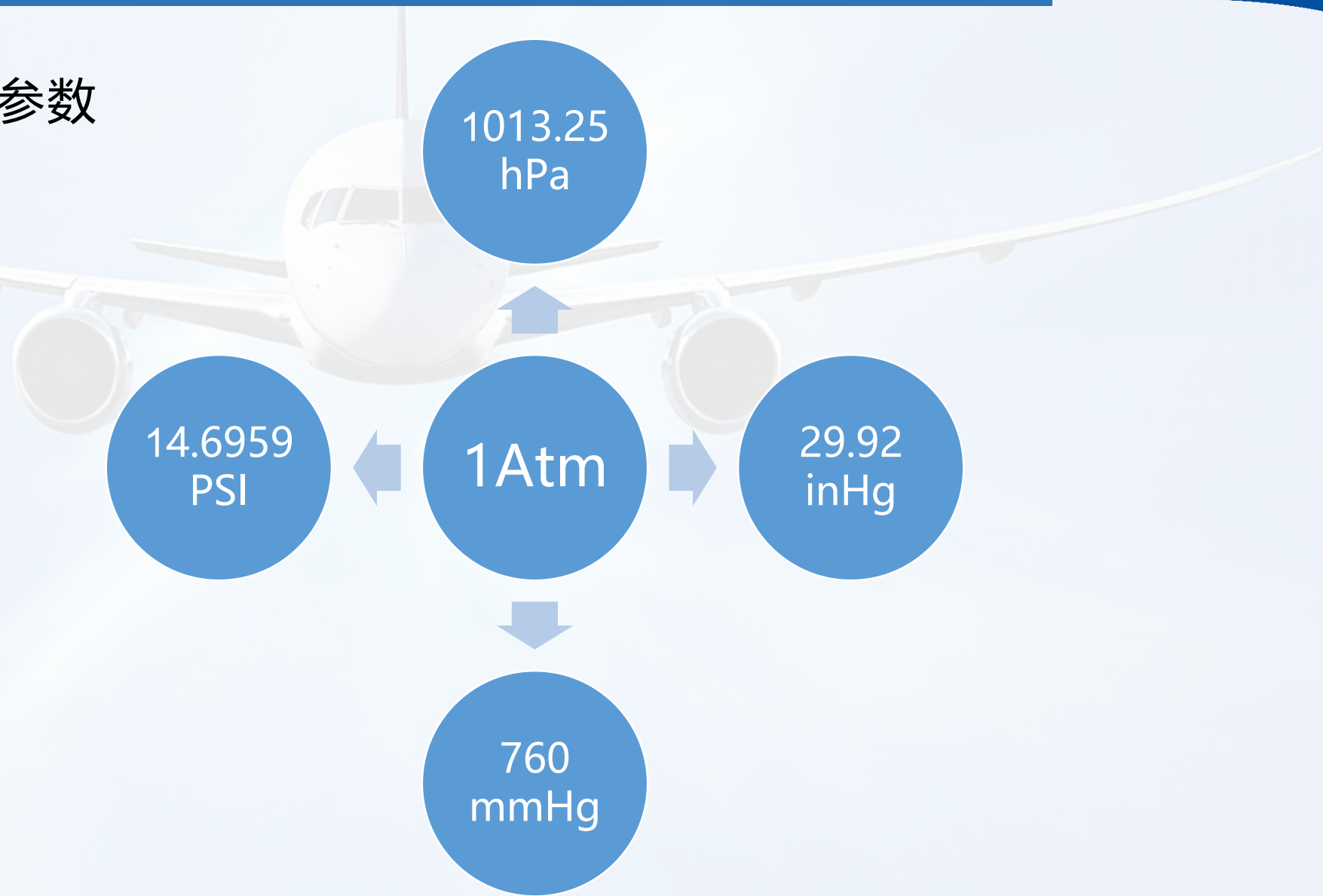


3、大气的重要物理参数

3) 大气压强

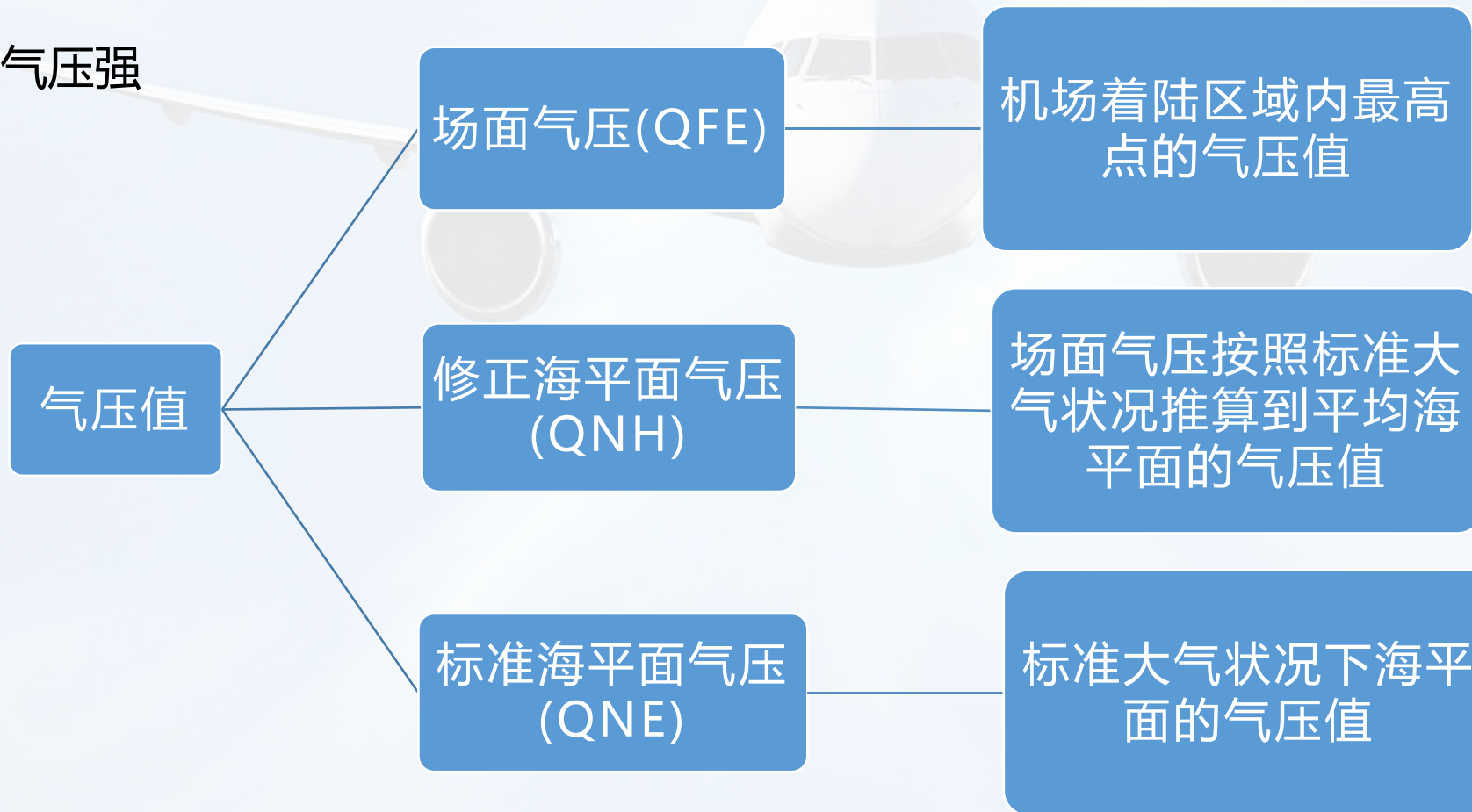
□ 标准大气压 (Atm):

✓ 海平面, 15°C



3、大气的重要物理参数

3) 大气压强



3、大气的重要物理参数

4) 湿度

- 潮湿程度
- 通常用相对湿度表示
- **温度越高**，能含有的水蒸气的最大量**越大**
- **露点温度**
- 水蒸气密度是干燥空气的5/8

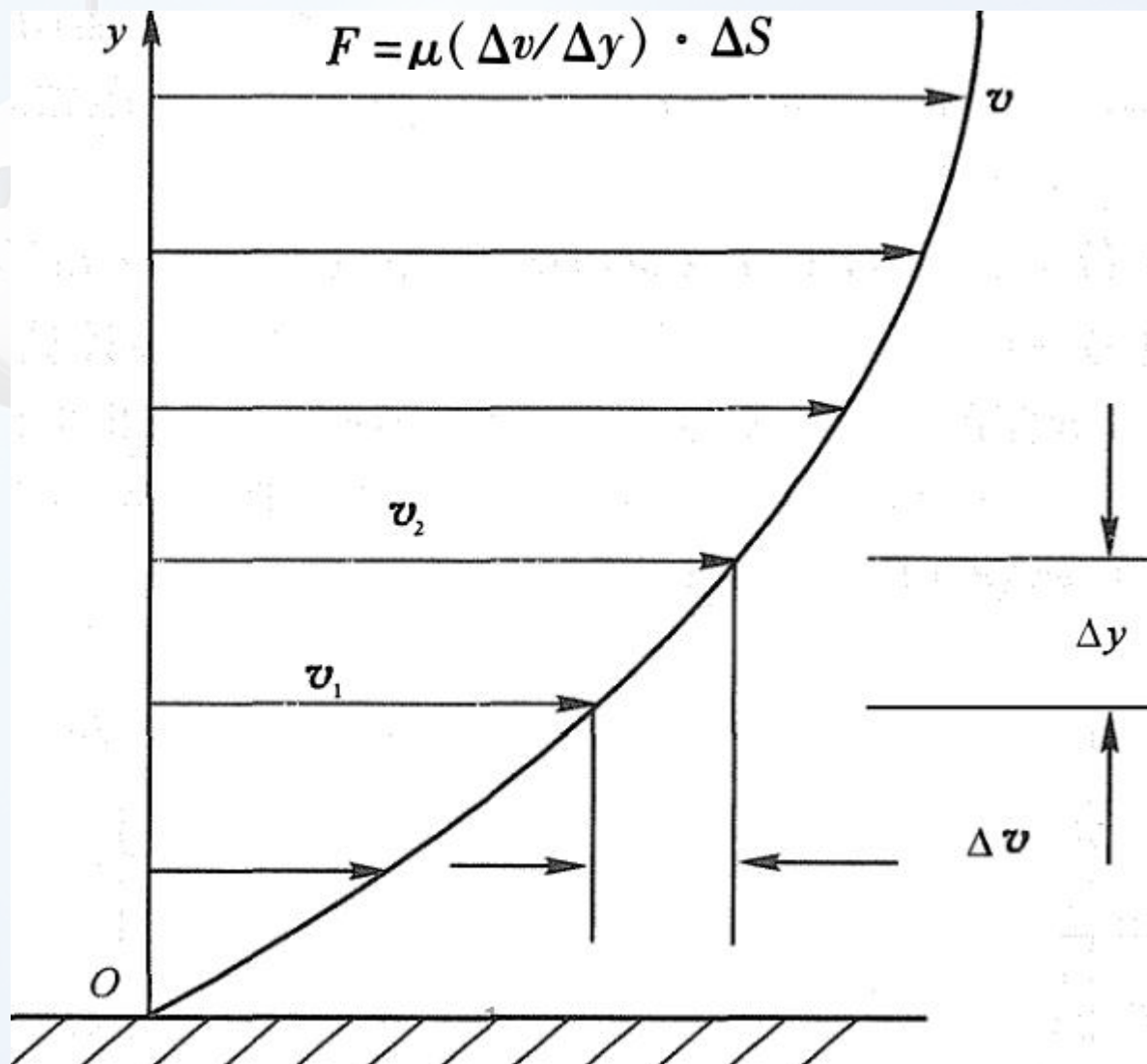


尾迹云

3、大气的重要物理参数

5) 黏性

- 相互粘滞和相互牵扯的力
- **气体和液体黏温特性相反**
- 黏性大的区域：
 - ✓ 附面层内
 - ✓ 尾流区内
 - ✓ 激波区域内
- 理想流体(忽略黏性)



3、大气的重要物理参数

6) 可压缩性

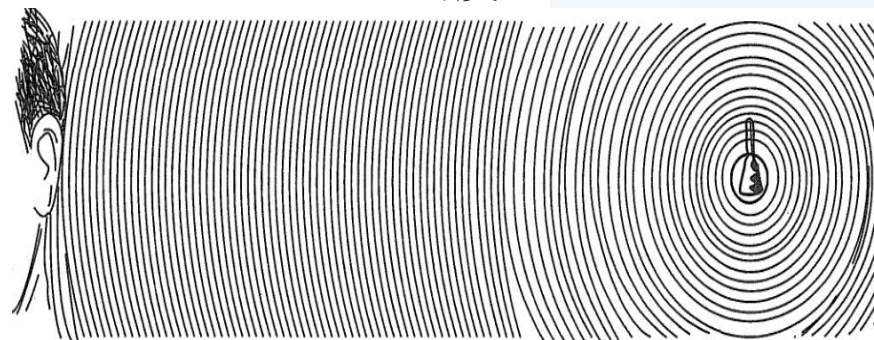
- V 、 ρ 随 P 、 T 变化的特性
- 物质都具有一定程度的可压缩性
- 液体的压缩性非常小
- 低速飞行，可不考虑压缩性
- 高速飞行必须考虑气体压缩性

3、大气的重要物理参数

7) 声速

- 小扰动在介质中的传播速度
- 它受大气温度和密度的影响
- 表示介质压缩性大小的一个指标
- 同一种介质中 $a^2 = kT$
- 在液体中传播速度比空气中大

$$a^2 = \frac{\Delta \text{压力}}{\Delta \text{密度}}$$



4、国际标准大气 (ISA)


1) 制定目的

- 便于计算、整理和比较飞机的试飞结果
- 给出标准的飞机性能数据
- 由国际民航组织 (ICAO) 制定

4、国际标准大气 (ISA)

2) 模型

- 以北半球中纬度地区大气物理性质的平均值为依据
- 加以适当的修正建立的
- 完全气体假设

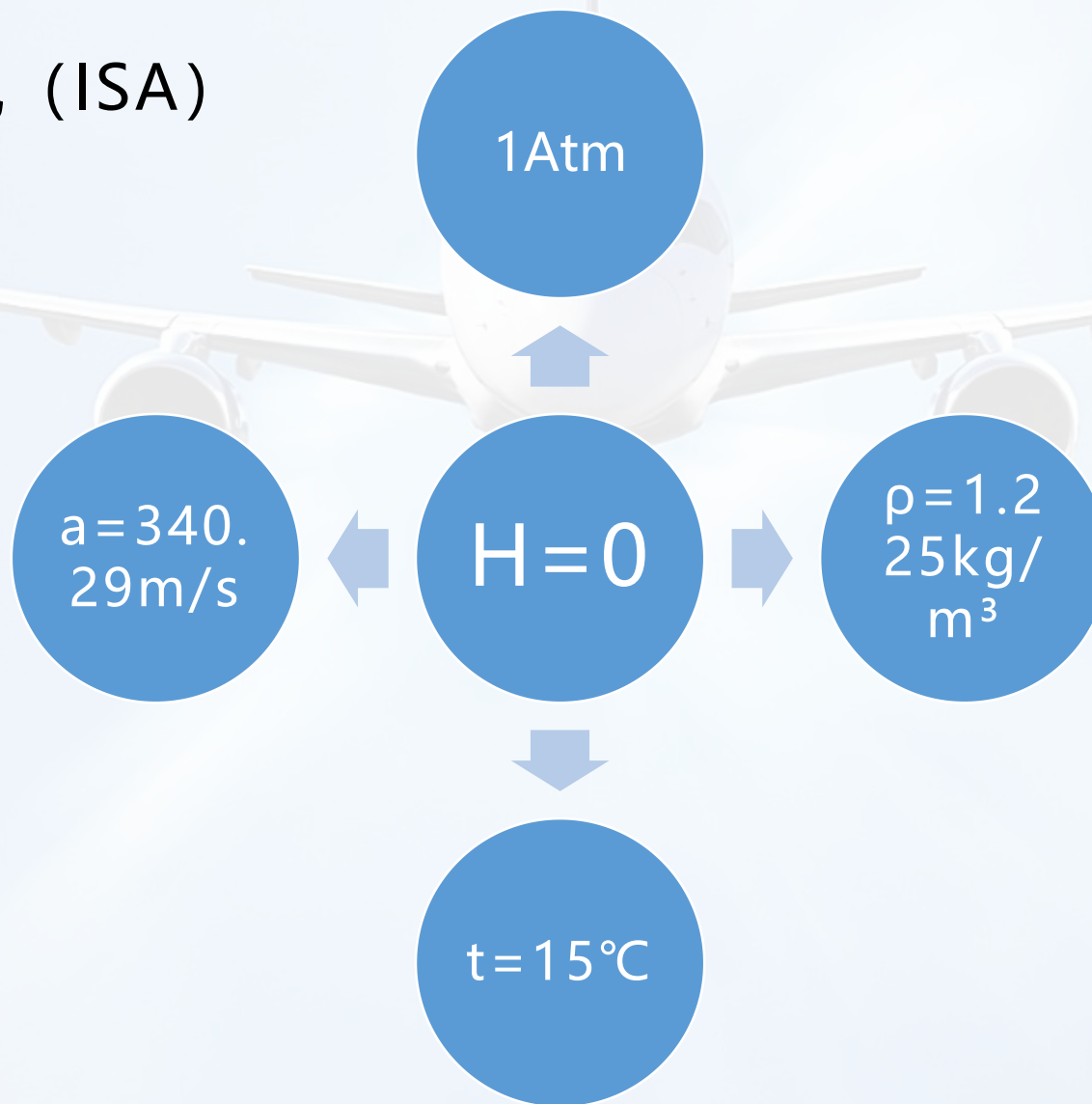

$$p = \rho RT$$

结论:

- 压力不变, 密度和温度成反比
- 密度不变, 压力和温度成正比
- 温度不变, 密度和压力成正比

4、国际标准大气 (ISA)

3) 标准海平面参数



4、国际标准大气 (ISA)

4) 应用

- 提供了一个不随地理位置、季节和时间变化的标准大气环境
- 为确定飞机性能，制定了统一的标准
- 飞机技术手册中的飞行性能数据是在国际标准大气的条件下得出的
- 进行实际大气和国际标准大气之间的互相换算的主要工作是要确定两者的**温度偏差** (ISA 偏差)

小结:

- ① 大气密度、压强、随高度的增加而近似曲线性的下降。
- ② 空气的声速传播、黏性、湿度都跟随温度的变化而变化。
- ③ 温度随高度的变化特点是？
- ④ 为什么要制定标准国际标准大气压？

A large, faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and engines.

1.2.2 空气动力学基本原理 (2H)

目
录

1

飞行相对运动原理

2

连续介质假设

3

流体运动的基本概念

4

连续方程与伯努利方程

□ 什么是空气动力学？

研究物体和空气作**相对运动**时，空气运动及其作用力规律的科学

□ 什么是空气动力？

- ✓ 空气作用在物体上的力叫做空气动力
- ✓ 空气作用在物体外表面上的分布力的合力

1、飞行相对运动原理

- 是相对运动原理在空气动力学中的应用
- 运动是相对的(相对参考系)
- **物理规律对所有参考系是相同的**
- **选空气或飞机做参考系**其运动规律及产生的空气动力**完全相同**



1、飞行相对运动原理

- 空气相对飞机的运动称为**相对气流**
- 只要相对气流相同，产生的空气动力也就相等
- 可以将飞机的飞行**转换**为空气的流动
- **使空气动力问题的分析大大简化**
- **风洞实验**就是根据这个原理建立起来的

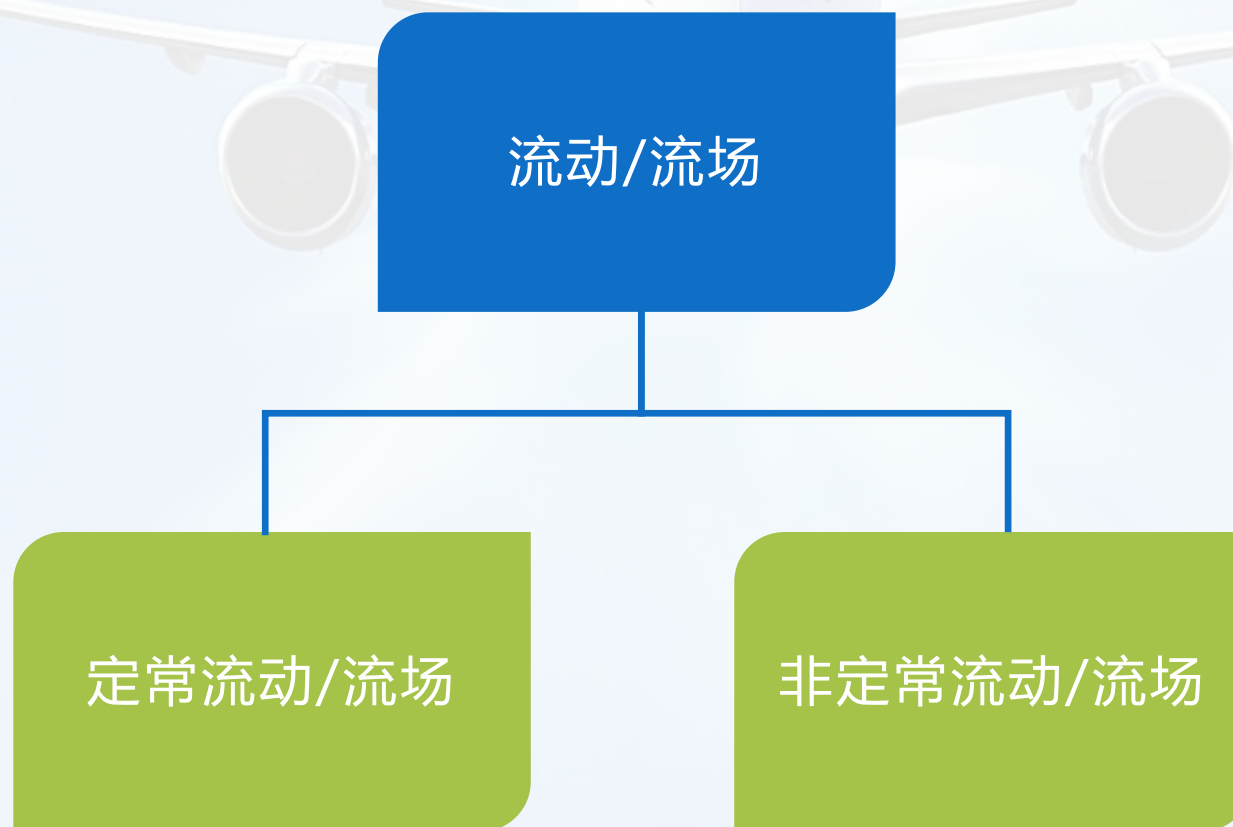


2、连续介质假设

- 什么是连续性**假设**?
- 为什么说他是假设?
- 理由? 空气平均自由行程
- **目的：使空气动力问题的分析大大简化**

3、流体运动的基本概念

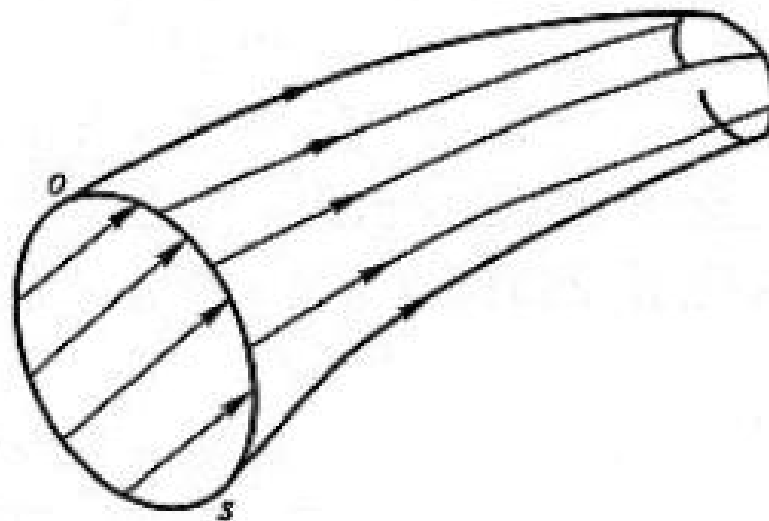
1) 流场、定常流和非定常流



3、流体运动的基本概念

2) 流线

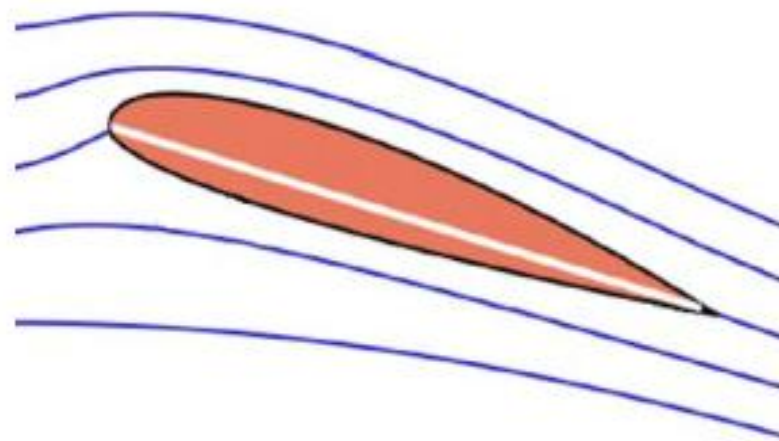
- 定常流，流线是流体微团流动的路线
- 流线的切线方向是流动速度的方向
- 流线不可能交叉，也不可能分叉



3、流体运动的基本概念

3) 流线谱

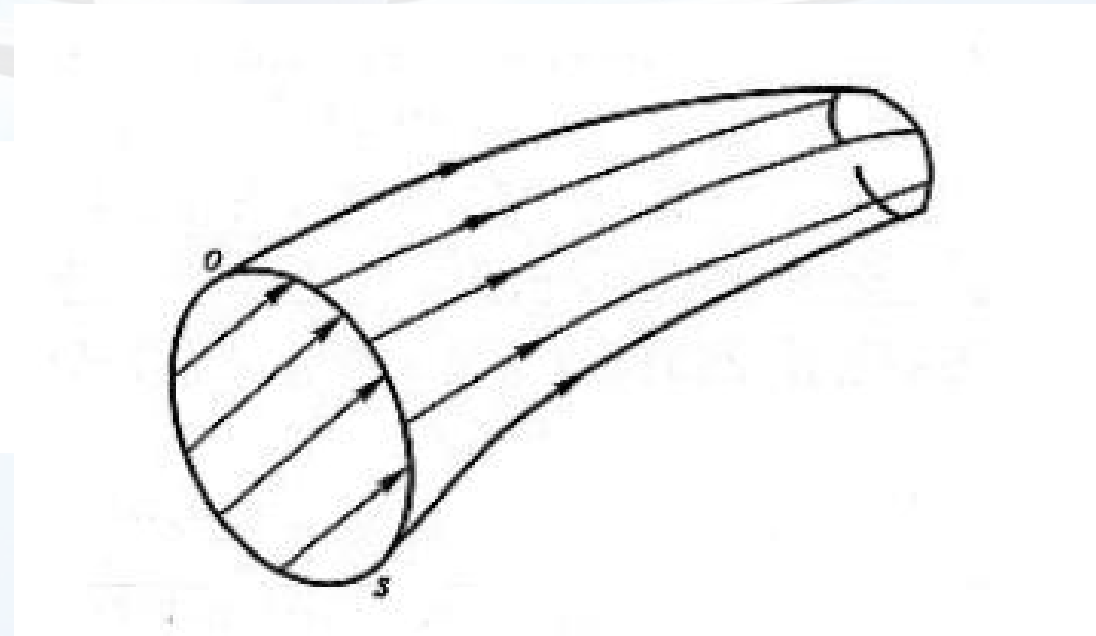
- 用流线组成的描绘流体微团流动情况的**图画**称为流线谱
- 如果流线谱 **不随时间变化**，它所描绘的就是**定常流**



3、流体运动的基本概念

4) 流管

- 什么是流管？
- 流管的特性

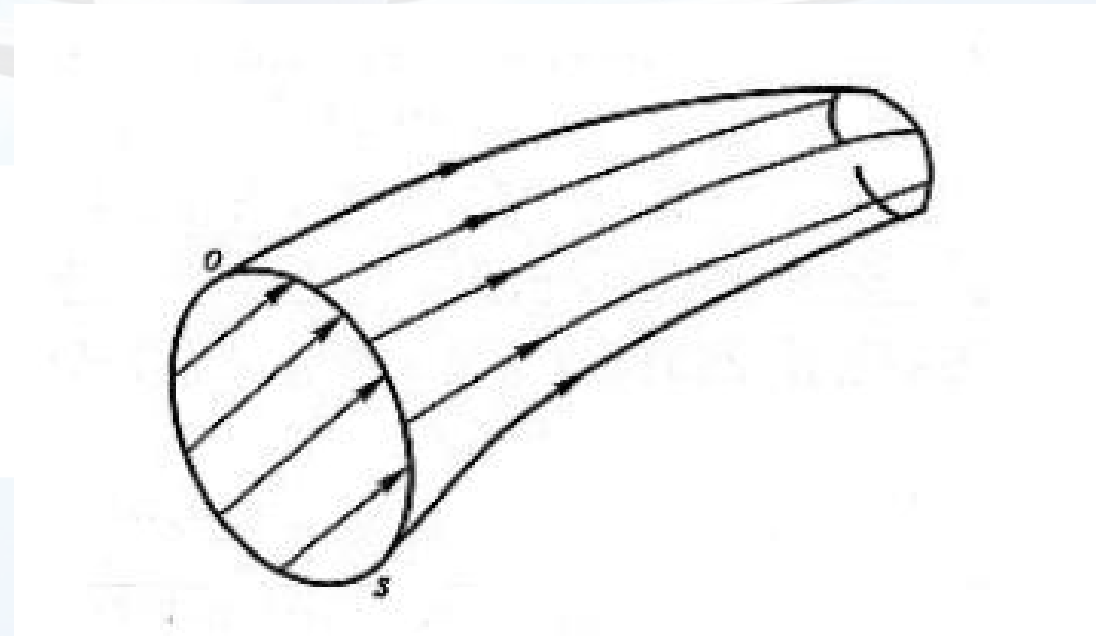


3、流体运动的基本概念

5) 流量

□ 体积流量： AV

□ 质量流量： $q = \rho AV$




A white commercial airplane is shown from a front-on perspective, flying in a light blue sky. The airplane is centered in the upper half of the slide. The text '小结:' is overlaid on the left side of the airplane.

小结:

- 1.相对运动原理及其应用
- 2.连续性假设
- 3.流场、定常流和非定常流的概念
- 4.流线及流管的特性

4、连续方程与伯努利方程



连续方程	质量守恒定律应用	什么是质量守恒定律	宏观分别守恒 微观都不守恒 $E=mc^2$ 核反应 湮灭
伯努利方程	能量守恒定律应用	什么是能量守恒定律	

4、连续方程与伯努利方程

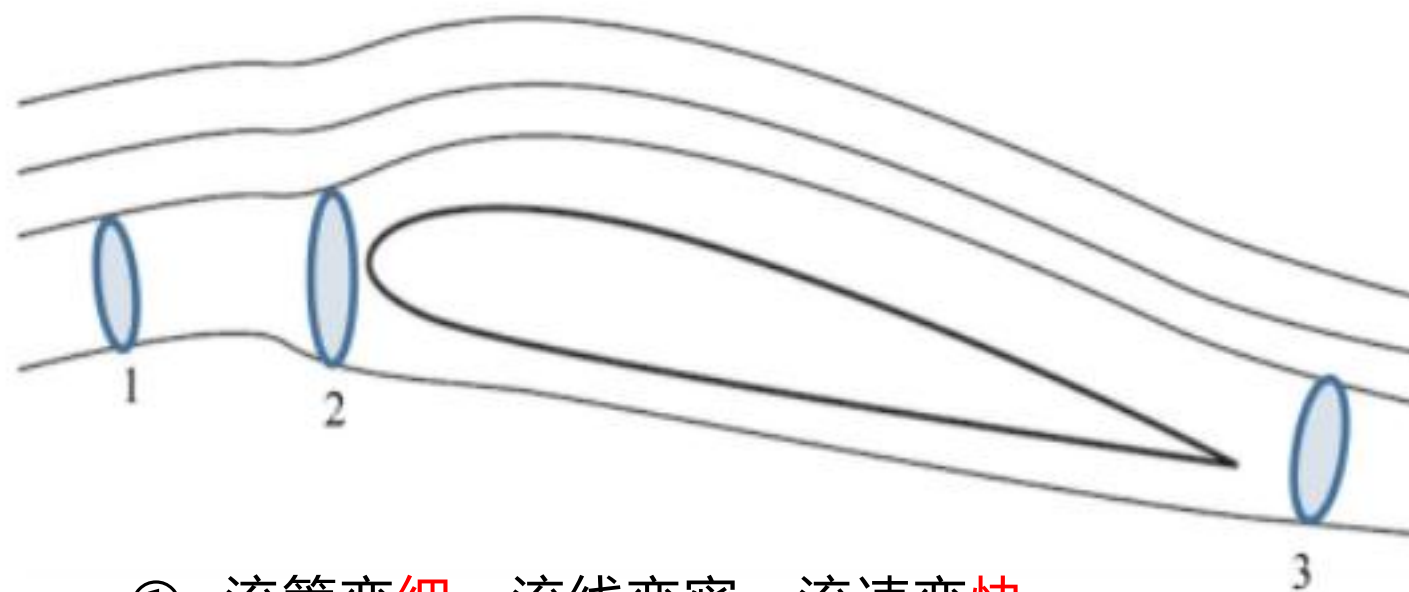
1) 连续方程

□ 在**定常**流动中

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \rho_3 A_3 V_3 \dots \dots \dots$$

□ **低速**飞行时

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3 \dots \dots \dots$$



- ① 流管变**细**，流线变密，流速变**快**
- ② 流管变**粗**，流线变疏，流速变**慢**

1.2.2 空气动力学基本原理

4、连续方程与伯努利方程

2) 伯努利方程

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = p_0$$

□ 适用条件:

- ✓ 不可压缩的
- ✓ 理想流体
- ✓ 绝热定常流动
- ✓ 忽略重力势能变化

□ 各项含义:

- ✓ p : 静压, 压力能
- ✓ $\frac{1}{2}\rho v^2$: 动压, 动能
- ✓ p_0 : 总压, 全压

1.2.2 空气动力学基本原理

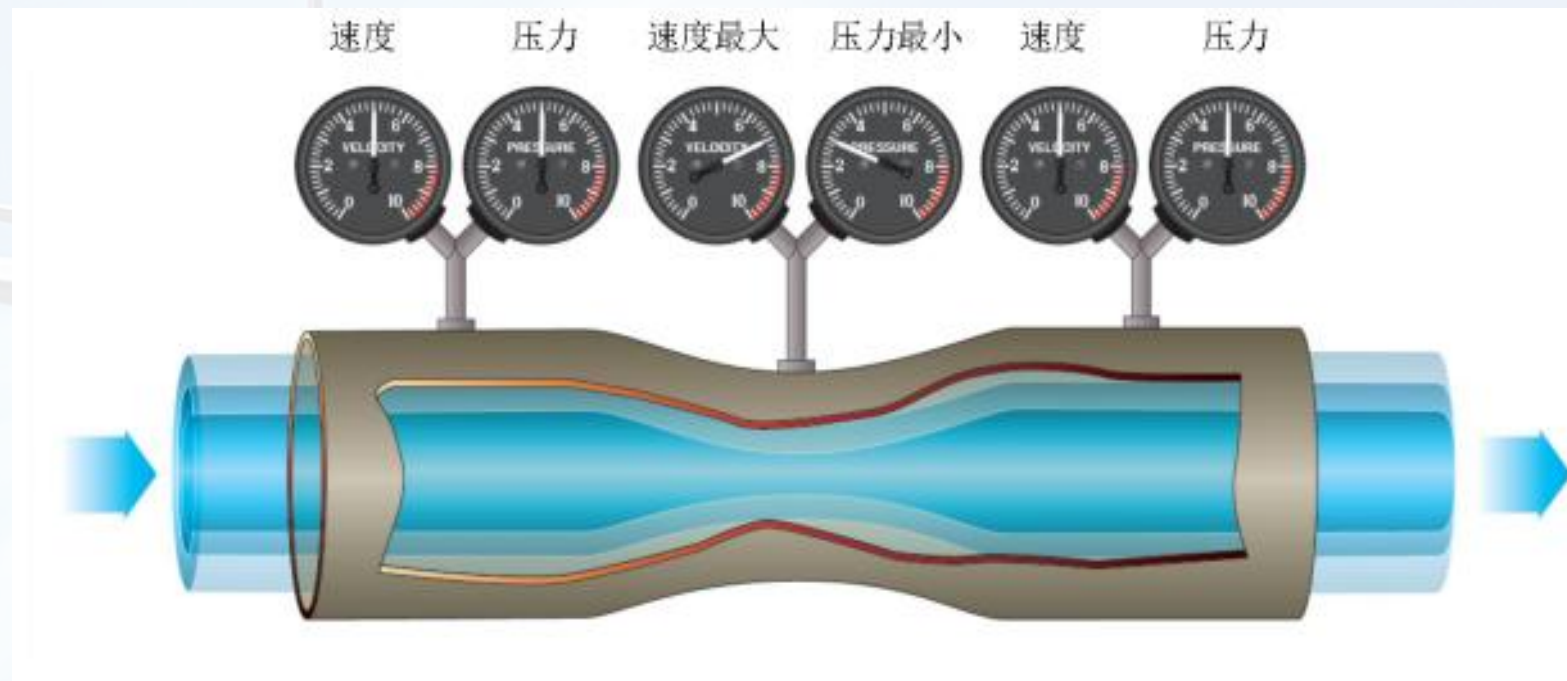
4、连续方程与伯努利方程

2) 伯努利方程

□ 将连续方程和伯努利方程一起考虑

□ **适用条件:**

- ✓ 不可压缩的
- ✓ 理想流体
- ✓ 绝热定常流动
- ✓ 忽略重力势能变化



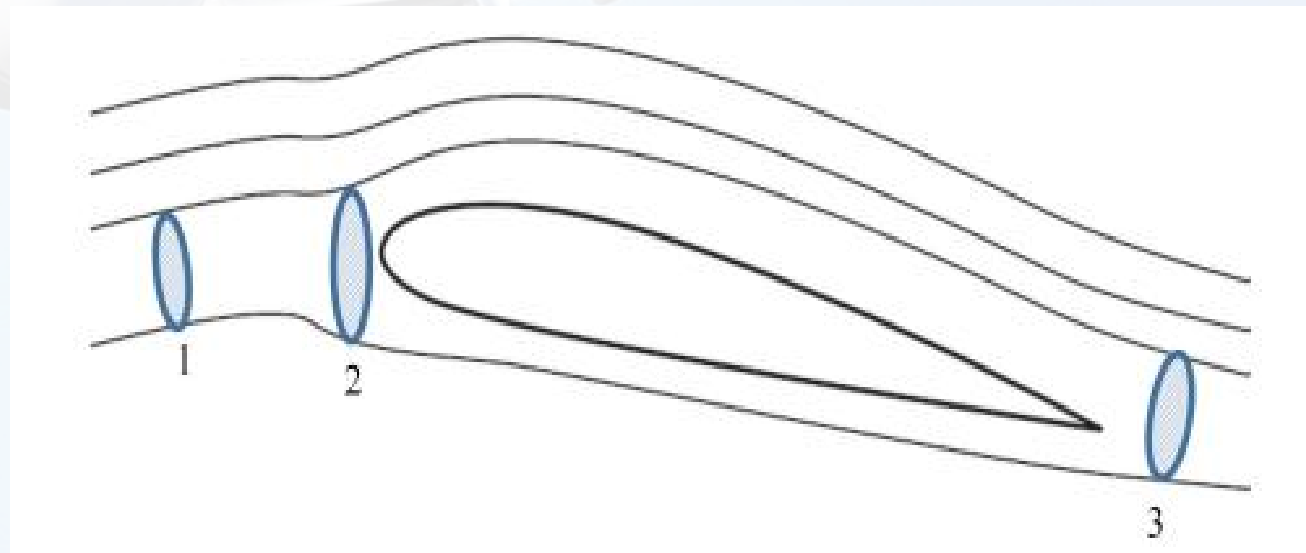
□ **流管变细，流速增加，静压减小**

□ **流管变粗，流速减小，静压增加**

4、连续方程与伯努利方程

□ 分析飞机机翼气动升力的产生

- 流管变细，流速增加，静压减小
- 流管变粗，流速减小，静压增加



小结:

	公式	适用条件	相关结论
连续方程	$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$	定常流	
	$A_1 V_1 = A_2 V_2$	不可压缩的定常流 (Ma < 0.4)	A与V负相关 (Ma < 1)
伯努利方程	$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = p_0$	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 不可压缩(Ma < 0.4) ✓ 理想流体 ✓ 绝热定常流动 ✓ 忽略重力势能变化 	P与v负相关



1.2.3 机翼几何外形和参数(1H)

目
录

1

机翼的翼型和基本参数

2

机翼平面形状和基本参数

3

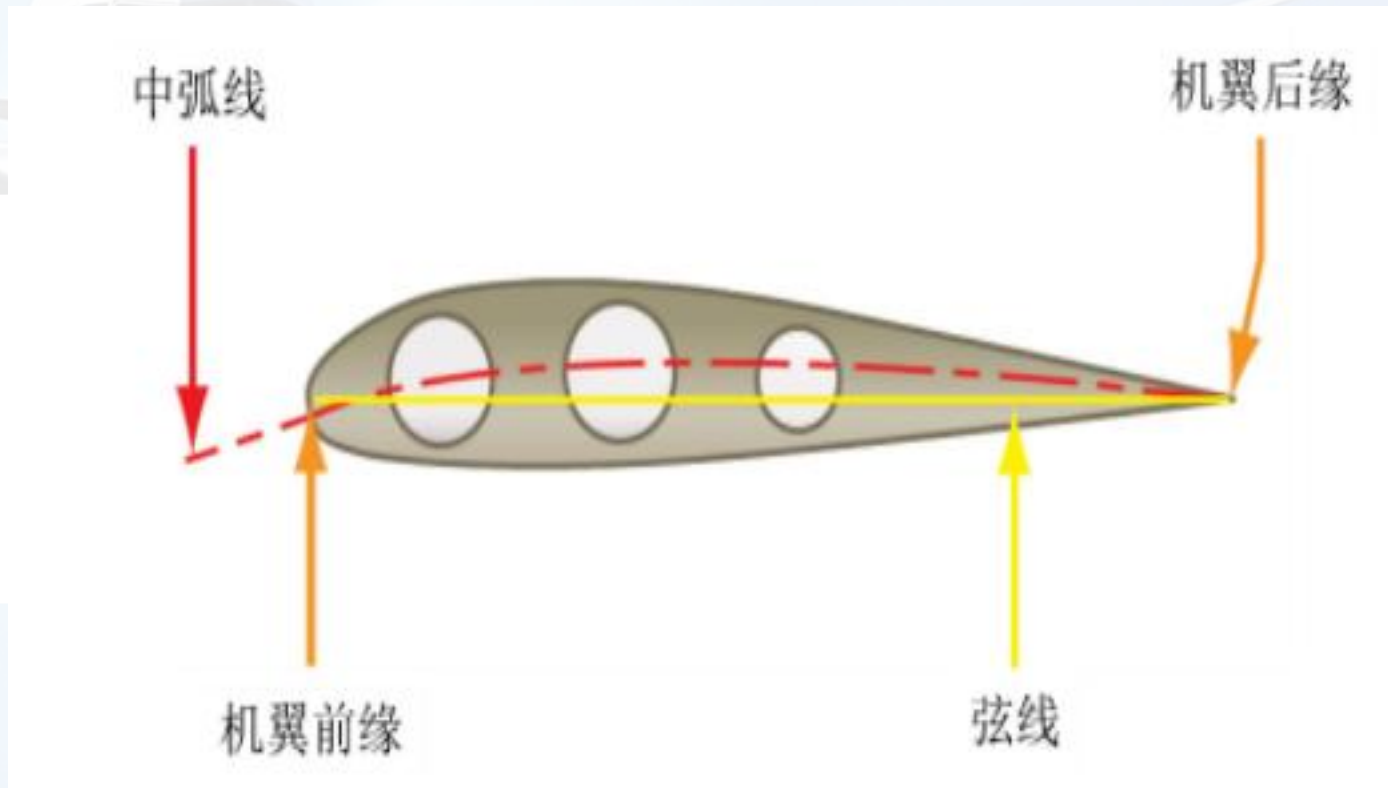
机翼相对机身的安装位置



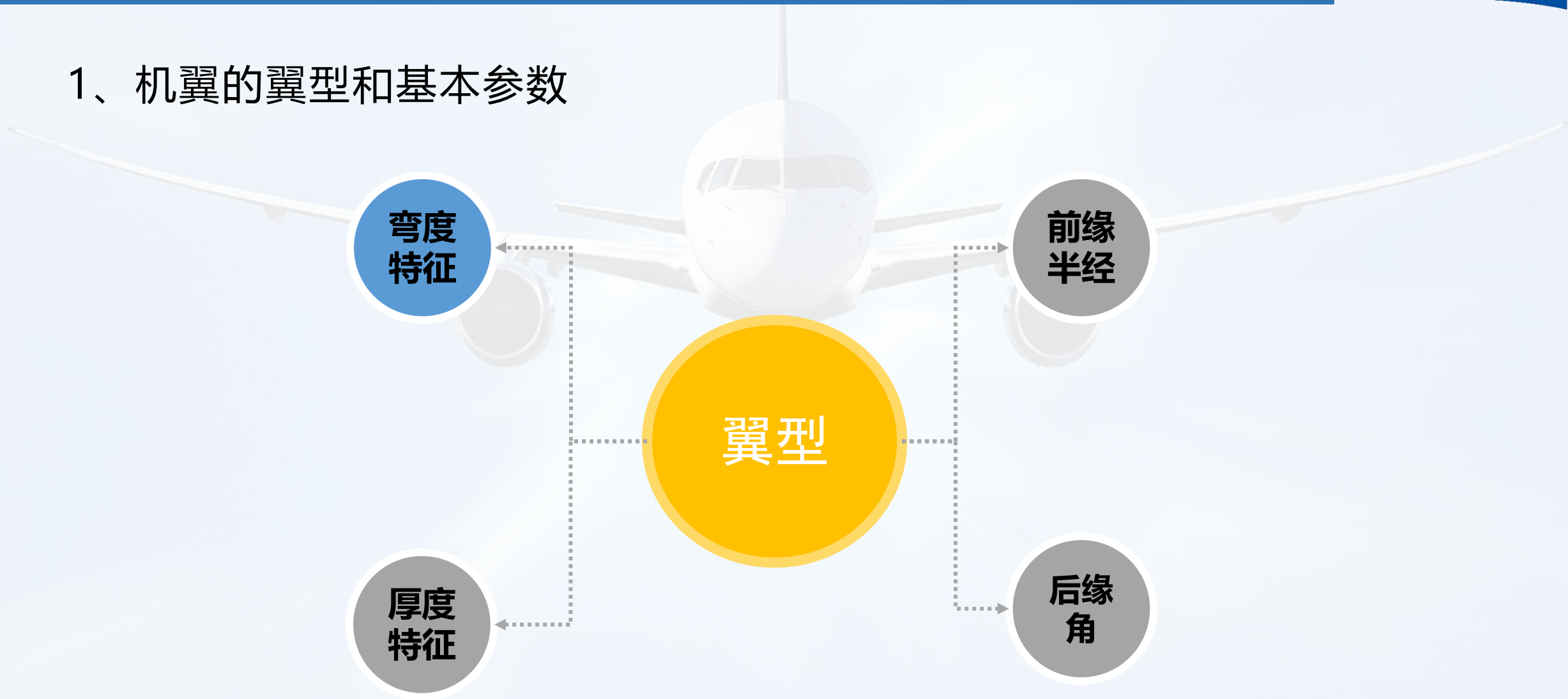
1.2.3 机翼几何外形和参数

1、机翼的翼型和基本参数

- 机翼翼型
- 翼弦、几何弦长
- 厚度、最大厚度、相对厚度
- 最大弯度、相对弯度



1、机翼的翼型和基本参数



1.2.3 机翼几何外形和参数

1、机翼的翼型和基本参数

低速翼型



- 弯度较大
- 最大弯度位置靠前
- 相对厚度较大
- 最大厚度位置靠前

高速翼型



- 对称翼型
- 最大弯度位置后移
- 薄翼型
- 最大厚度位置后移

民用运输机机翼翼型的相对厚度约为8% ~ 16%，最大厚度的位置约为 **35% ~ 50%**



克拉克Y翼型
(亚音速)



层流翼型
(亚音速)



对称翼型
(超音速)

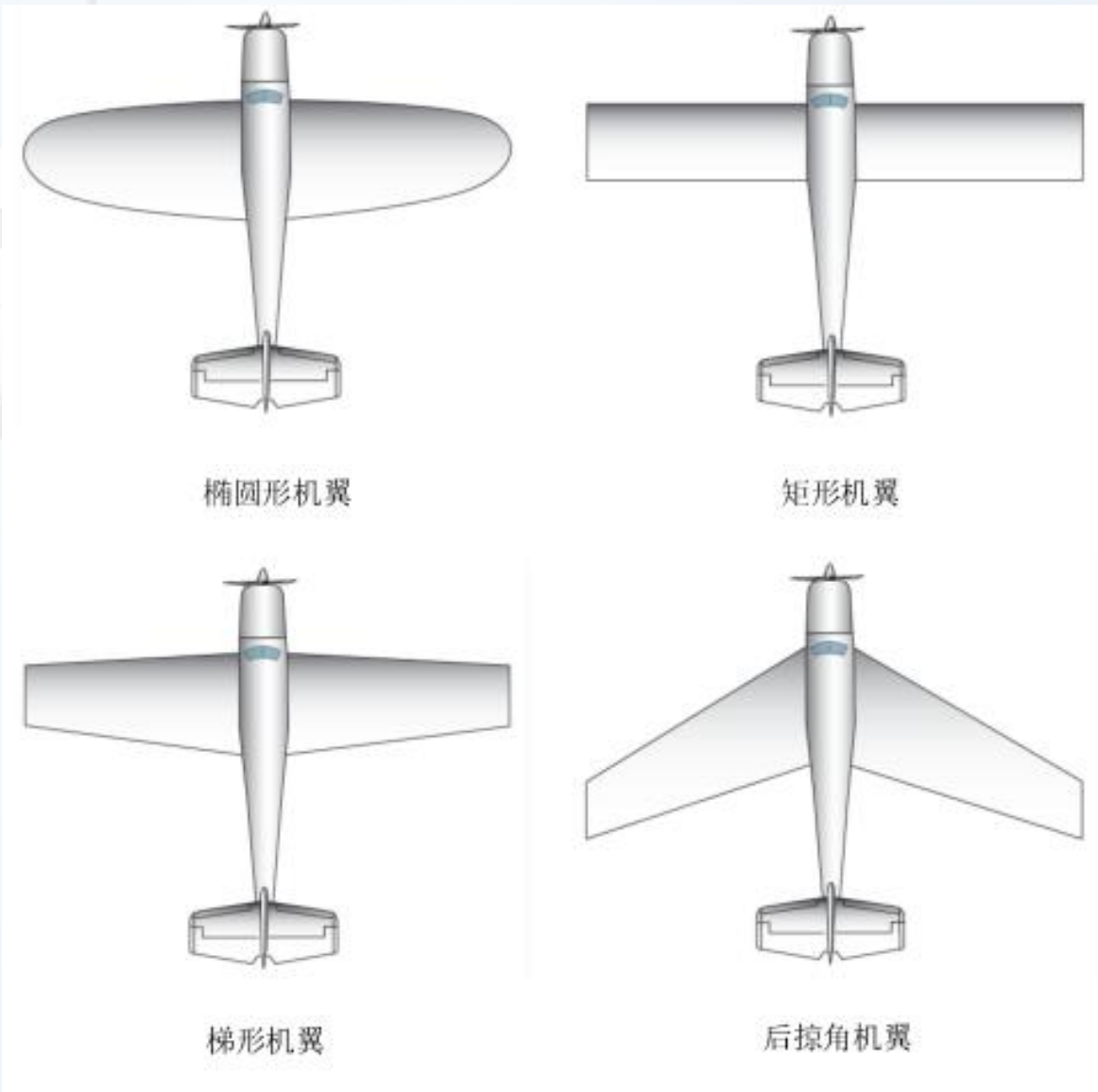


双楔翼型
(超音速)

1.2.3 机翼几何外形和参数

2、机翼平面形状和基本参数

- 机翼平面形状
- 机翼面积
- 梢根比
- 翼展展长
- 展弦比：7-8
- 后掠角：1/4 弦线 30 度



1.2.3 机翼几何外形和参数

3、机翼相对机身的安装位置

1) 机翼相对机身中心线的高度位置



1.2.3 机翼几何外形和参数

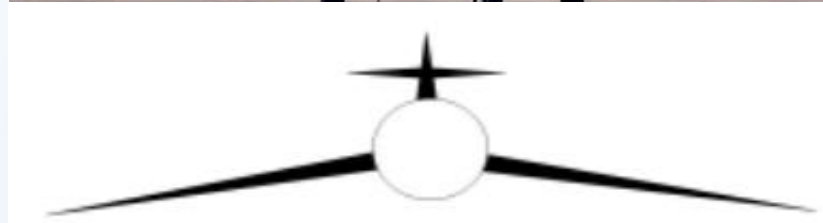
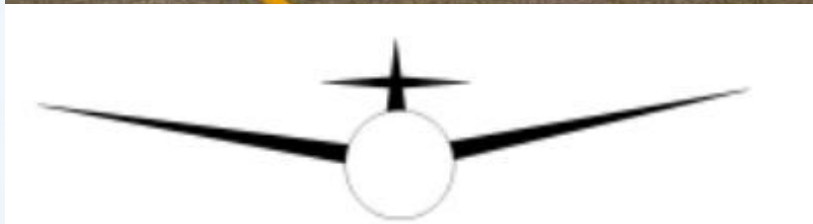
3、机翼相对机身的安装位置

2) 机翼相对机身的角度

□ **安装角**：一般取 4° 左右

□ **上反角、下反角**

□ **重要结构参数**



小结:

弦线、相对厚度、相对弯度、展弦比、后掠角、安装角、上反角等基本概念

低速翼型




- 弯度较大
- 最大弯度位置靠前
- 相对厚度较大
- 最大厚度位置靠前
- 大展弦比

高速翼型



- 对称翼型
- 最大弯度位置后移
- 薄翼型
- 最大厚度位置后移
- 小展弦比



1.2.4 作用在飞机上的空气动力(2H)

目 录

1

升力的产生

2

阻力的产生

3

升力和阻力的影响因素

4

机翼的压力中心和焦点

5

机翼表面结冰的影响

- 空气动力
- 总空气动力 R
- 压力中心
- 升力 L
- 阻力 D

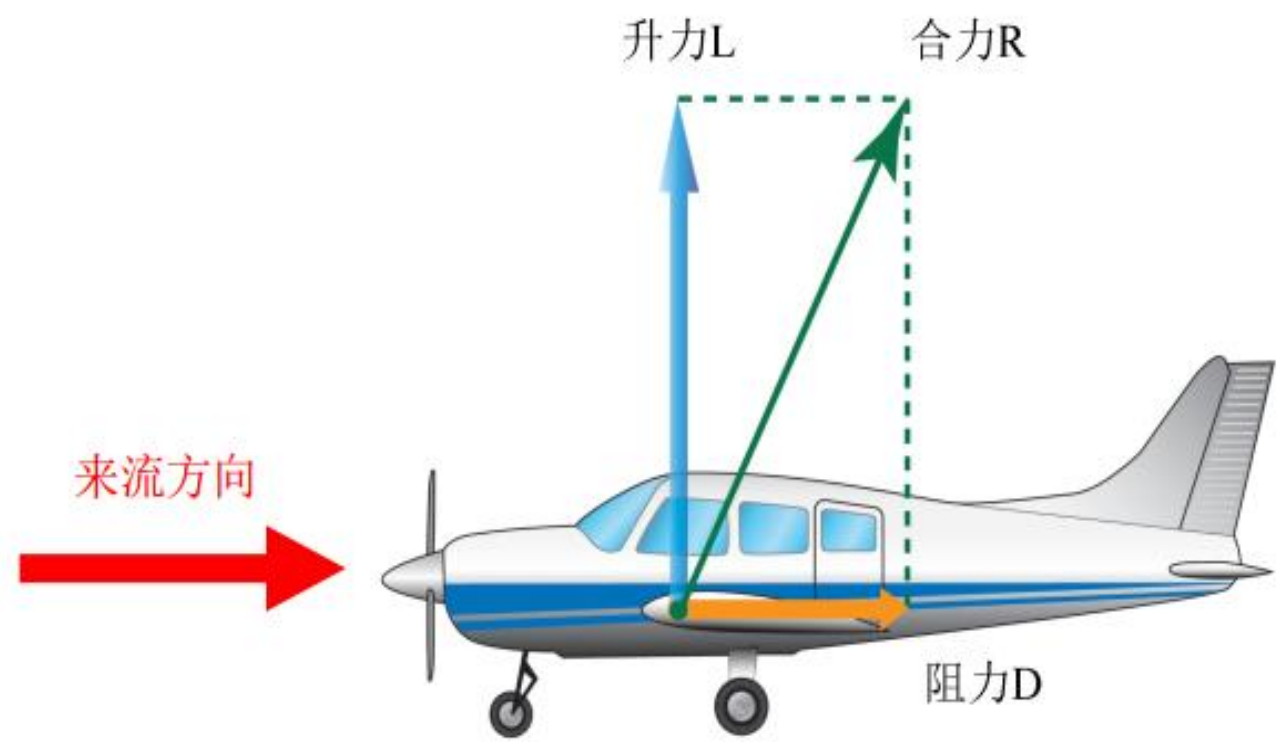


图 2-13 飞机的总空气动力、升力和阻力

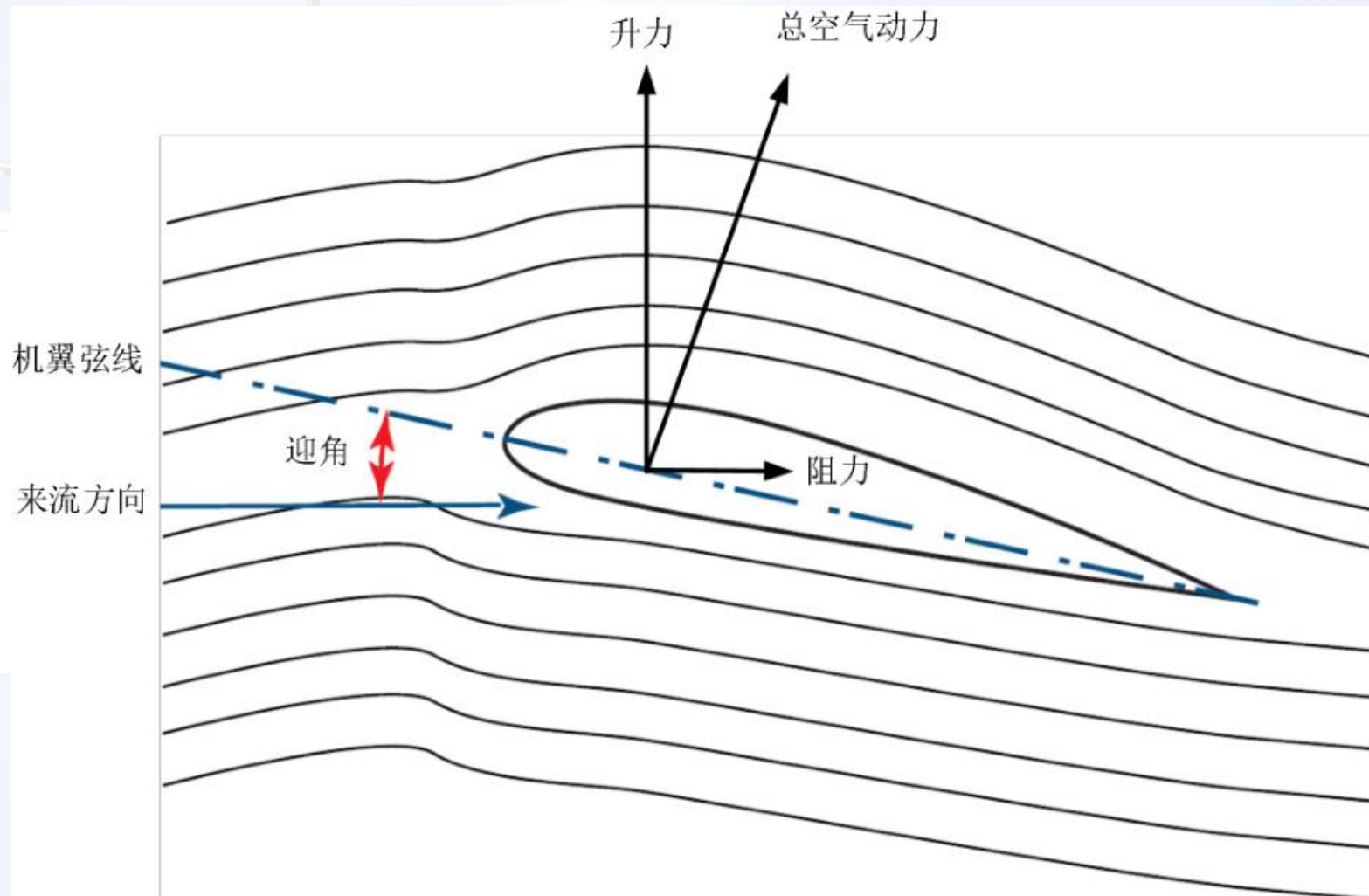
1.2.4 作用在飞机上的空气动力

飞机通过空气动力，都能做到什么？



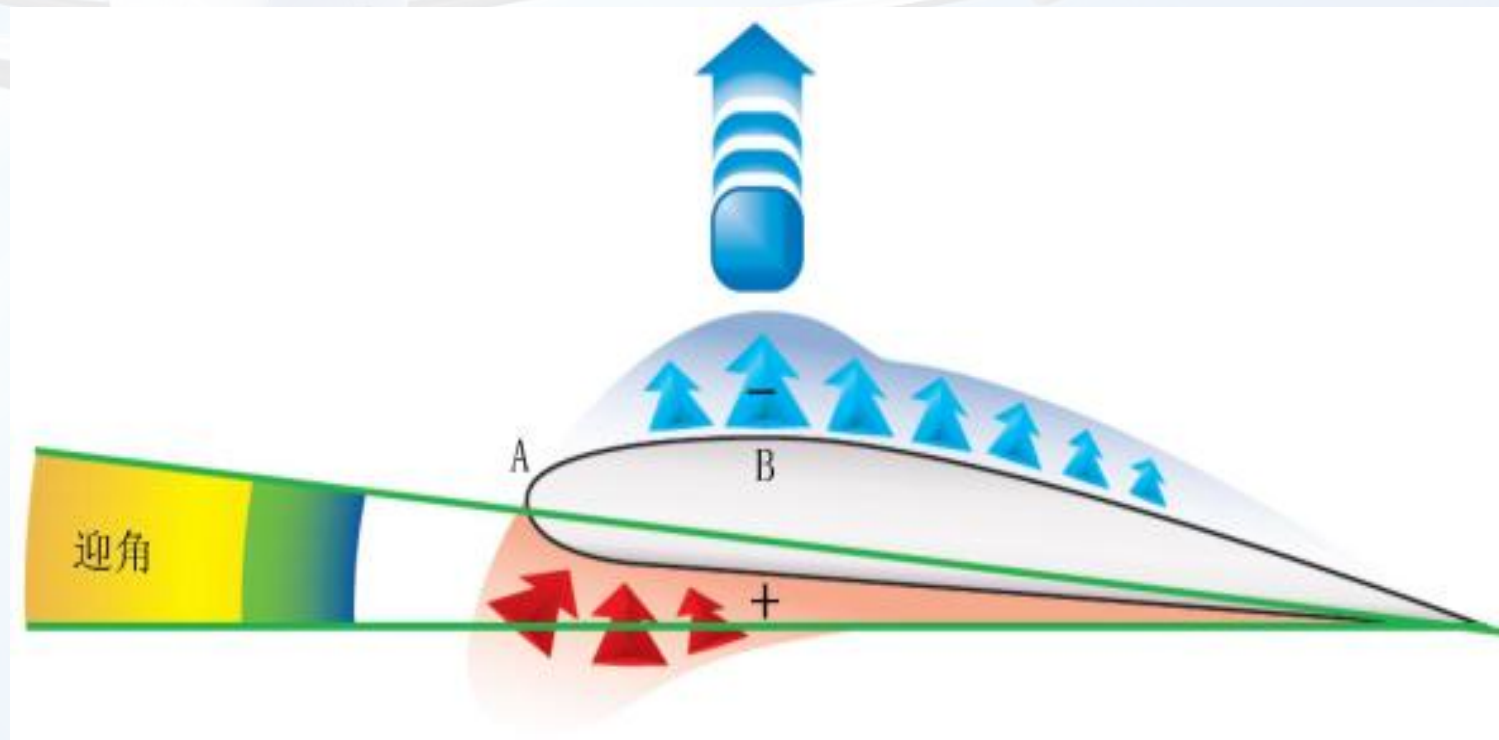
1、升力的产生

- 升力主要由机翼产生
- 迎角 α (正负)
- 压力中心
- 升力 L
- 阻力 D



1、升力的产生

- 机翼表面压力分布图
- 上下表面形成压差产生了升力
- 叶背、叶盆
- 驻点
- 最低压力点
- 升力远远大于阻力

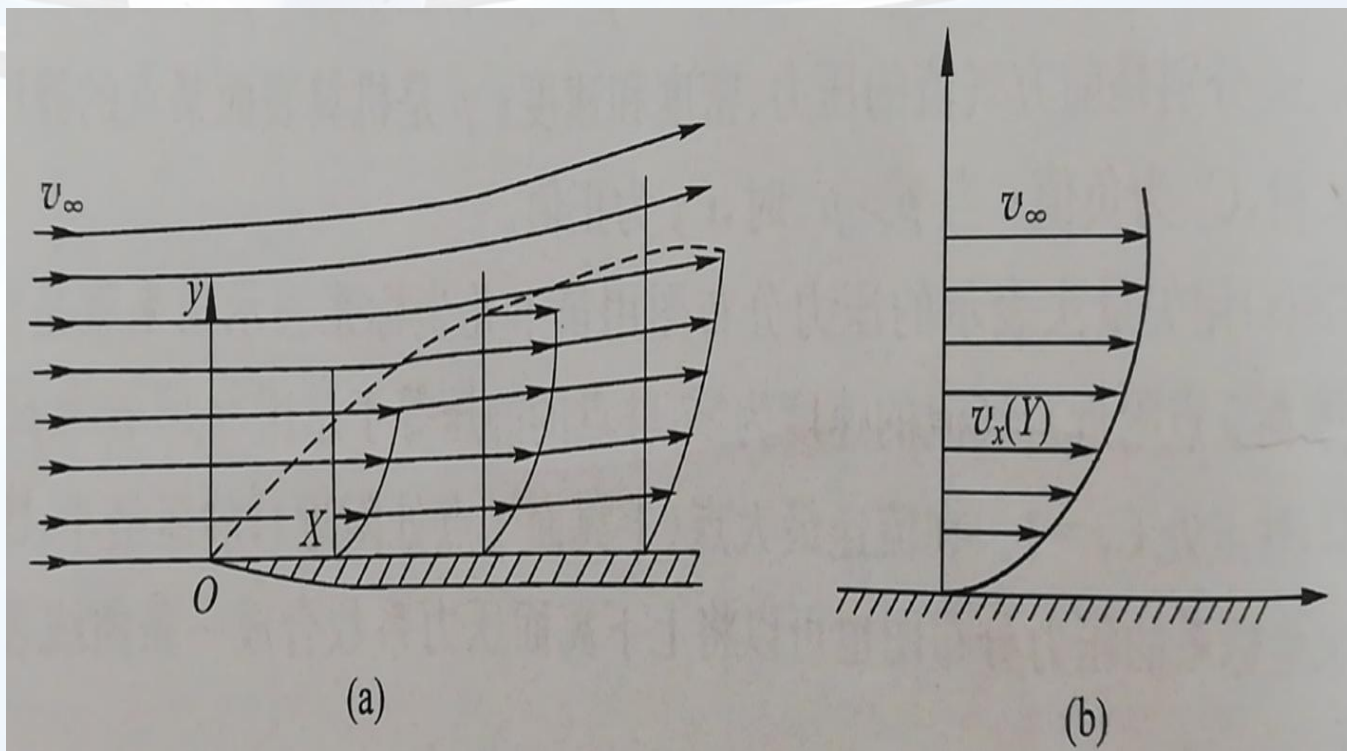


2、阻力的产生

1) 气流在机体表面的流动状态

(1) 附面层

- 也称为边界层
- 由于空气黏性
- 机体表面不是绝对光滑
- 附面层厚度变化



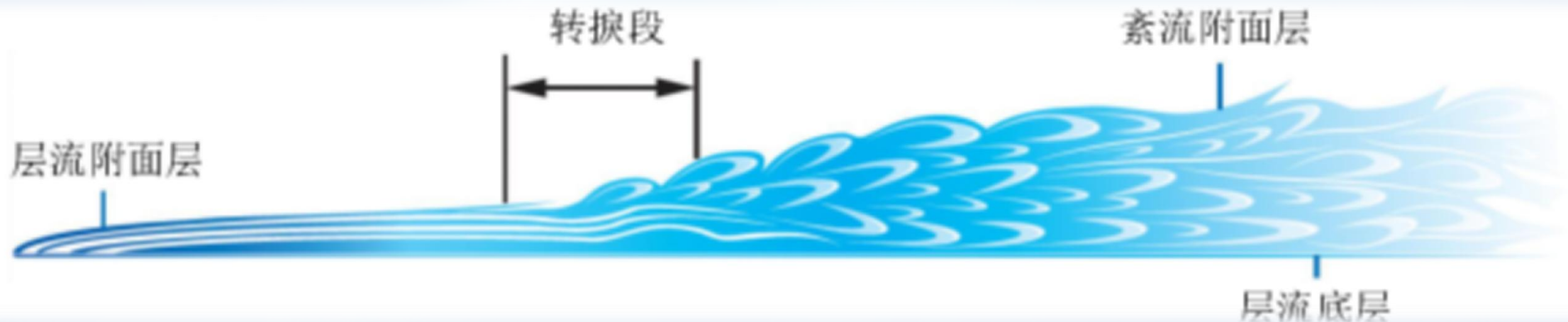
1.2.4 作用在飞机上的空气动力

2、阻力的产生

1) 气流在机体表面的流动状态

(2) 层流附面层和紊流附面层

- 层流附面层
- 紊流附面层
- **转捩**
- **转捩原因**
- 紊流底层，摩擦要比层流大得多

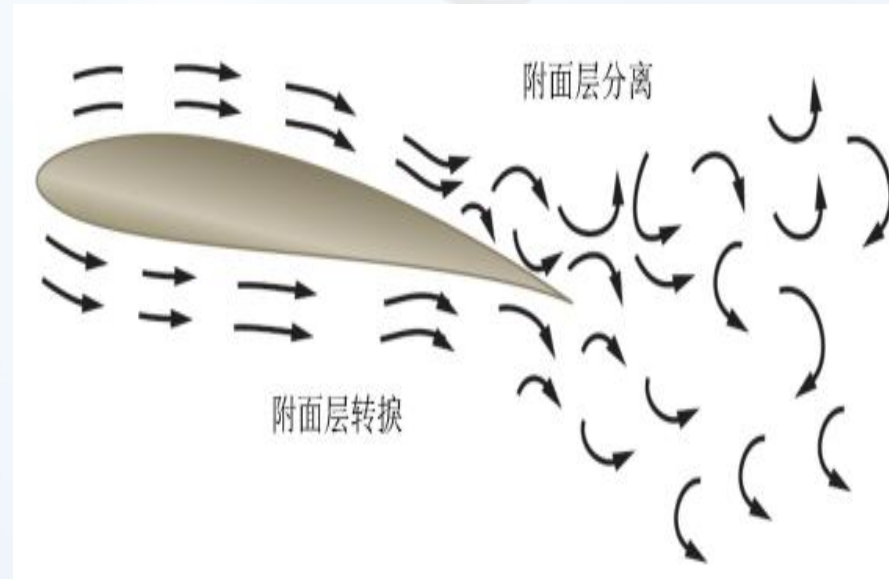
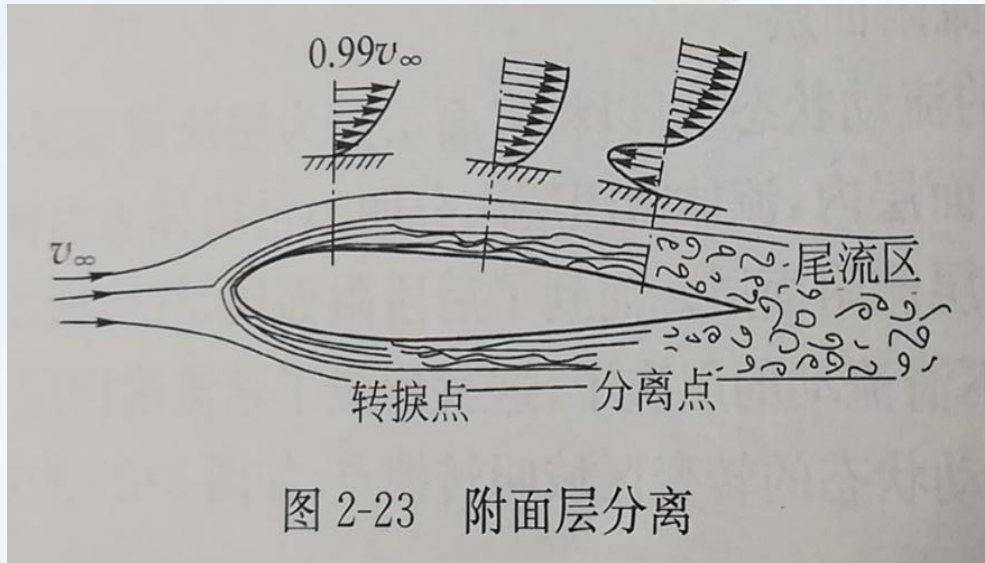


1.2.4 作用在飞机上的空气动力

2、阻力的产生

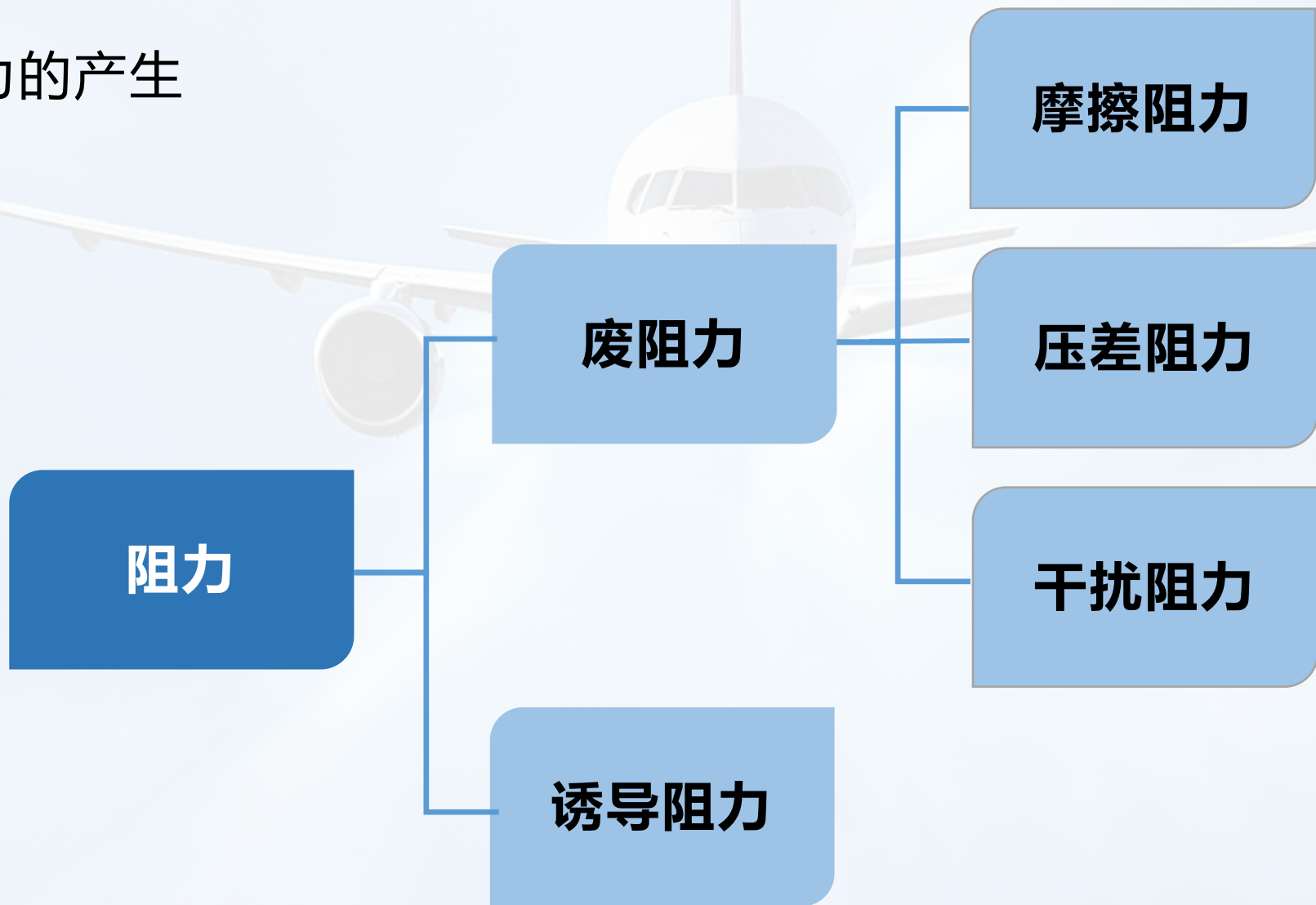
- 1) 气流在机体表面的流动状态
- (3) 附面层的分离

- 什么是附面层的分离
- 主要原因：逆压梯度
- **分离点**
- **涡流区(尾流区)**



1.2.4 作用在飞机上的空气动力

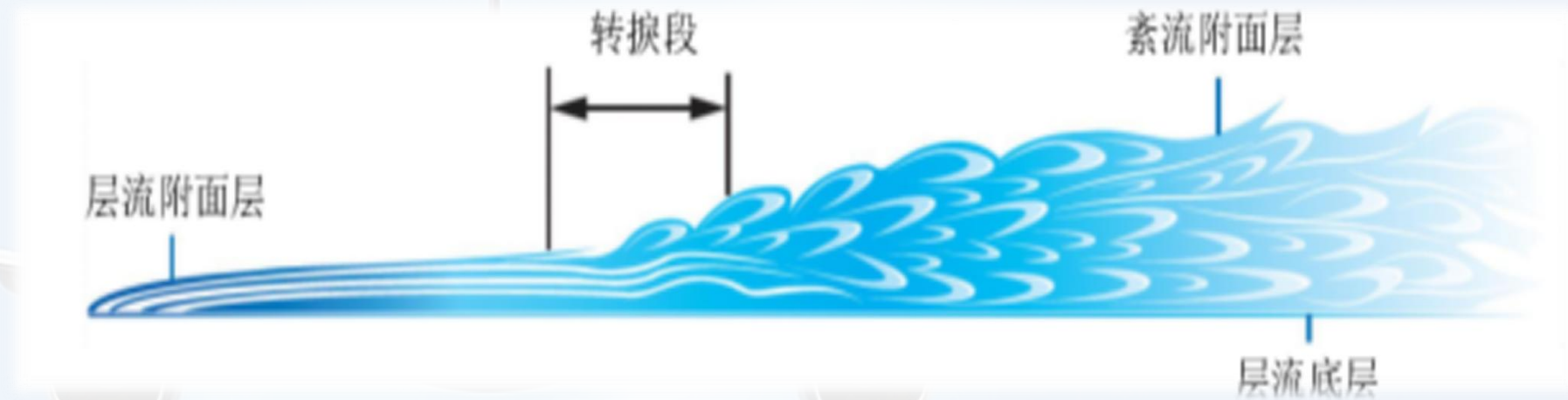
2、阻力的产生



1.2.4 作用在飞机上的空气动力

2、阻力的产生

2) 摩擦阻力



产生原因：

- 由于空气有黏性，存在于附面层内

影响因素：

- 附面层内气流的流动状态
- 接触的面积大小
- 机体表面状态

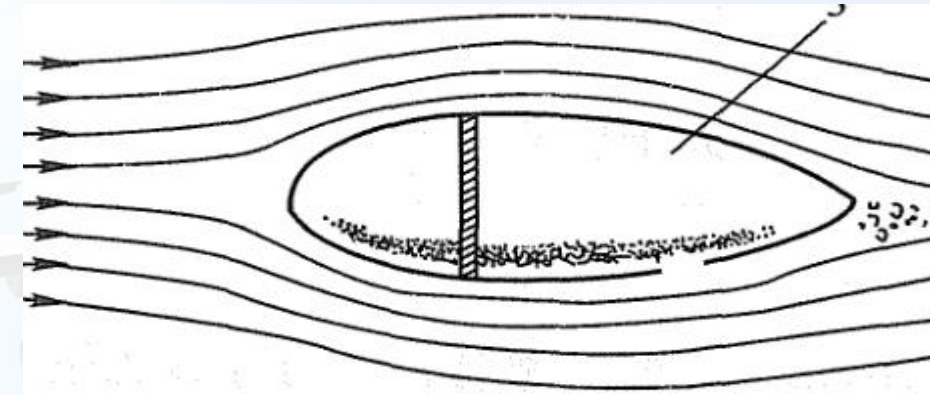
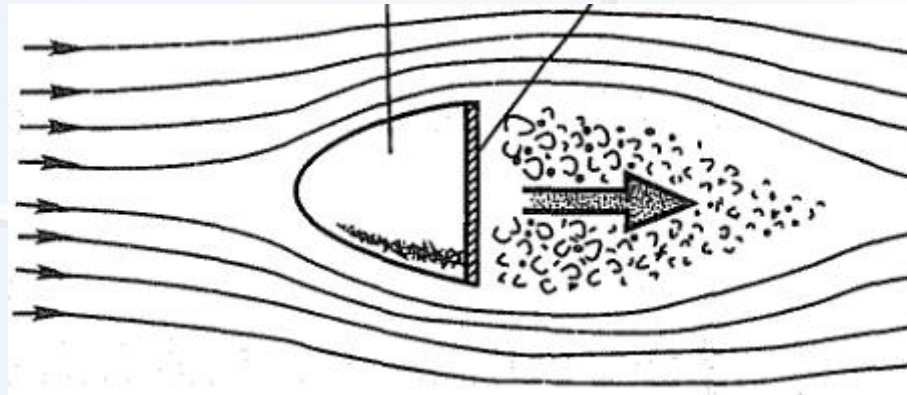
减小摩擦阻力的主要方法：

- 使附面层保持层流状态
- 减小接触面积
- 保持机体表面光滑清洁

1.2.4 作用在飞机上的空气动力

2、阻力的产生

3) 压差阻力



产生原因：

- 机体前后压力差，主要由**机翼**产生

影响因素：

- 迎风面积
- 截面的形状
- 物体相对气流的位置(α)

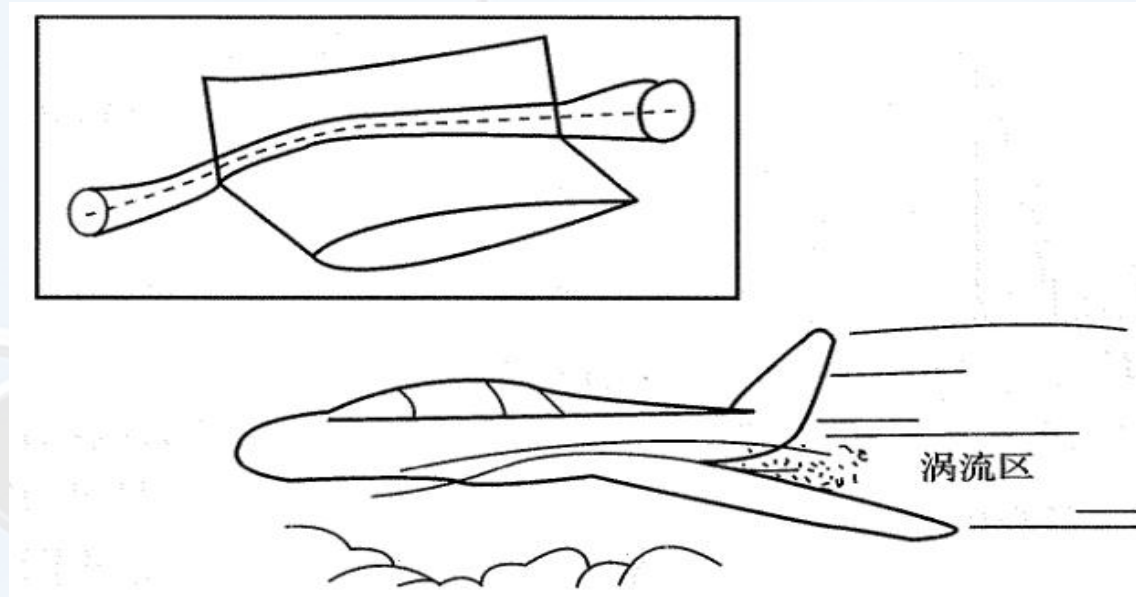
减小摩擦阻力的主要方法：

- 减小迎风面积
- 形状圆形或近似圆形
- 各部件外形采用流线型
- 机翼安装角 4°

1.2.4 作用在飞机上的空气动力

2、阻力的产生

4) 干扰阻力



产生原因：

- 气流在部件结合处互相干扰

影响因素：

- 组合时的相对位置
- 结合部位形成的流管形状

减小摩擦阻力的主要方法：

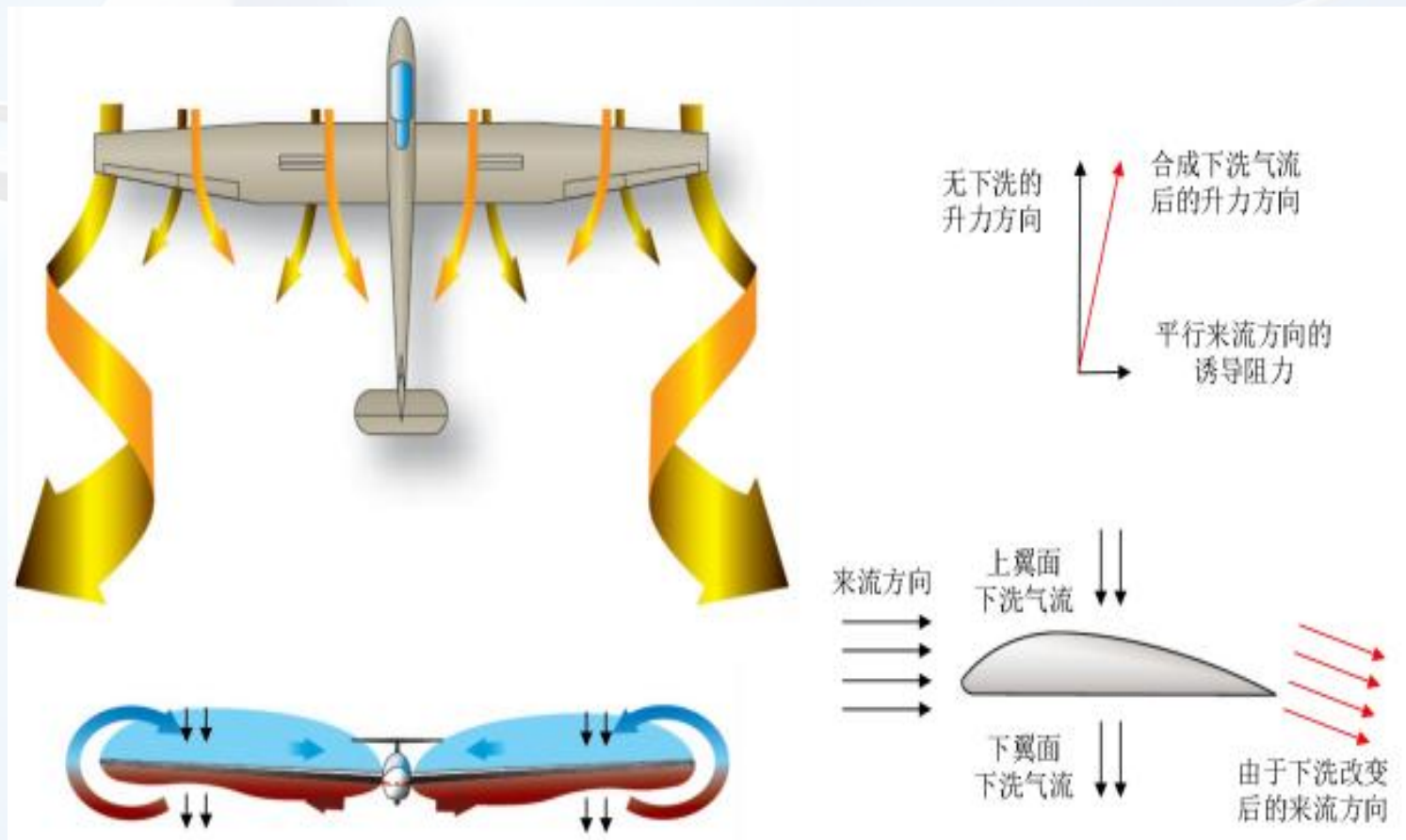
- 适当安排各部件之间的相对位置
- 部件结合部位安装整流罩

1.2.4 作用在飞机上的空气动力

2、阻力的产生

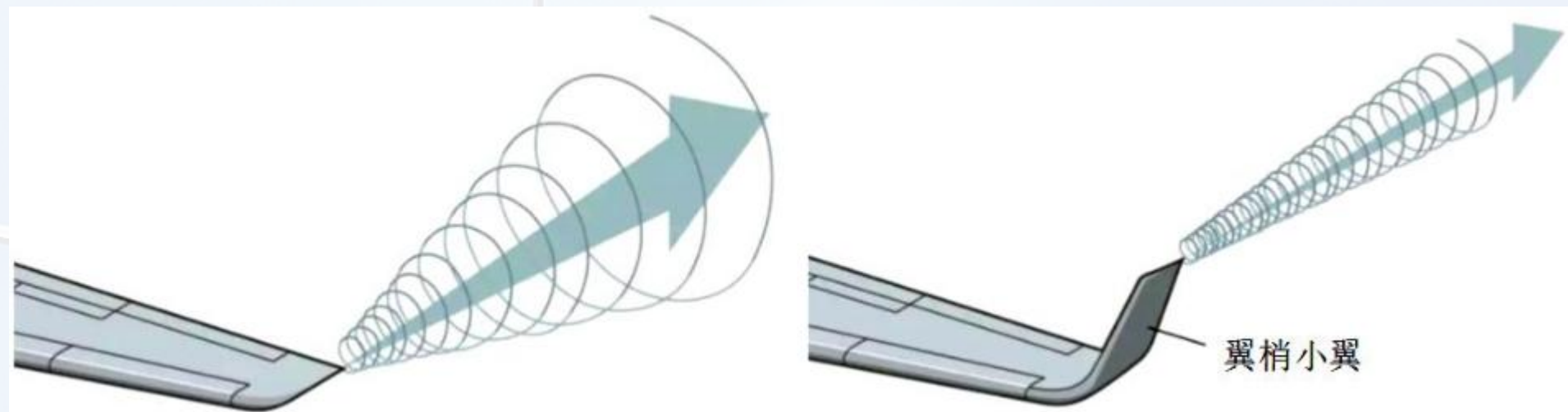
5) 诱导阻力

(1) 翼梢旋涡和下洗流



2、阻力的产生

5) 诱导阻力



产生原因：

- 伴随升力而产生

影响因素：

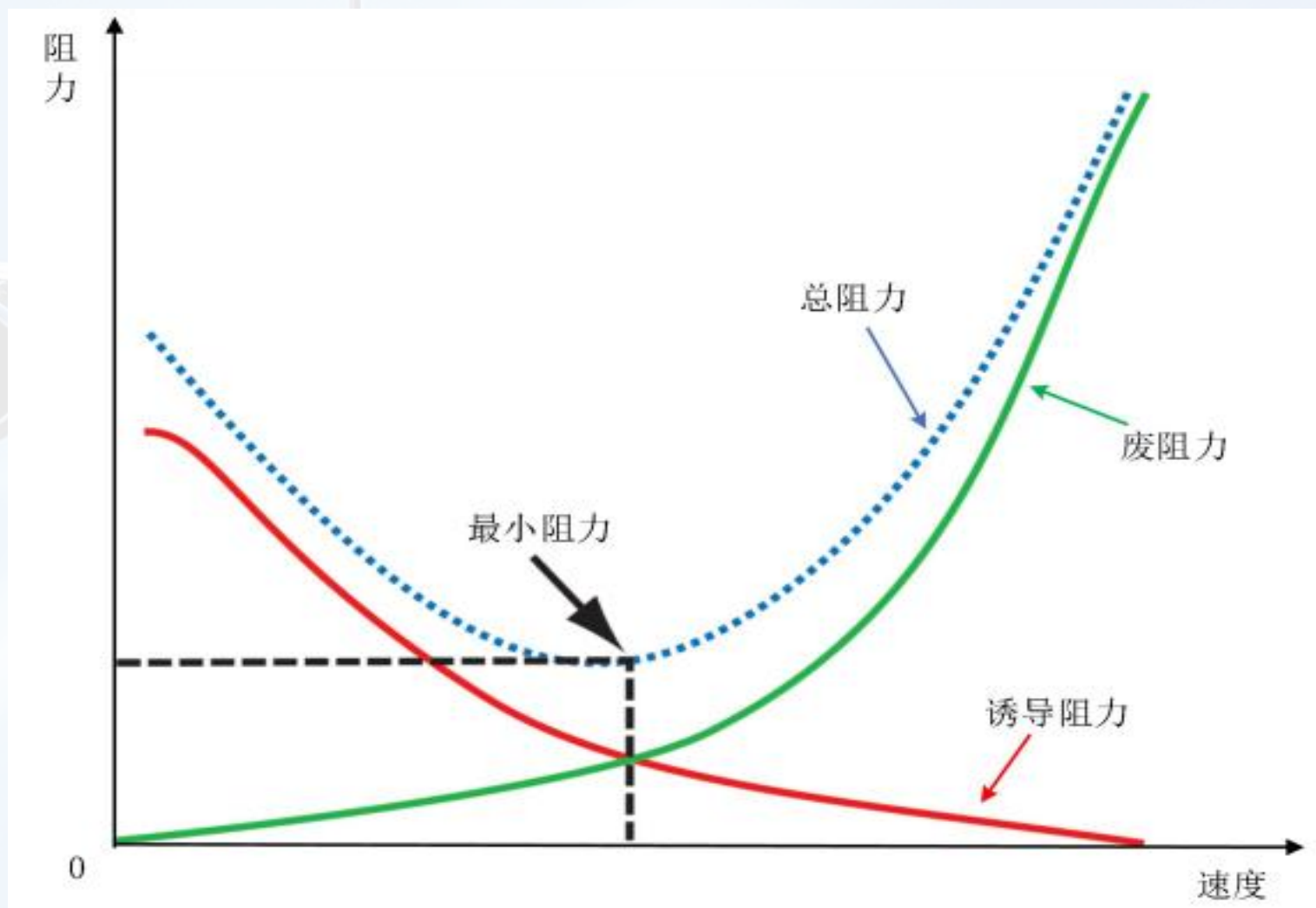
- 上下翼面压差
- 翼梢部位面积在机翼总面积中所占比例

减小摩擦阻力的主要方法：

- 用椭圆形机翼
- 大展弦比
- 采用翼梢小翼

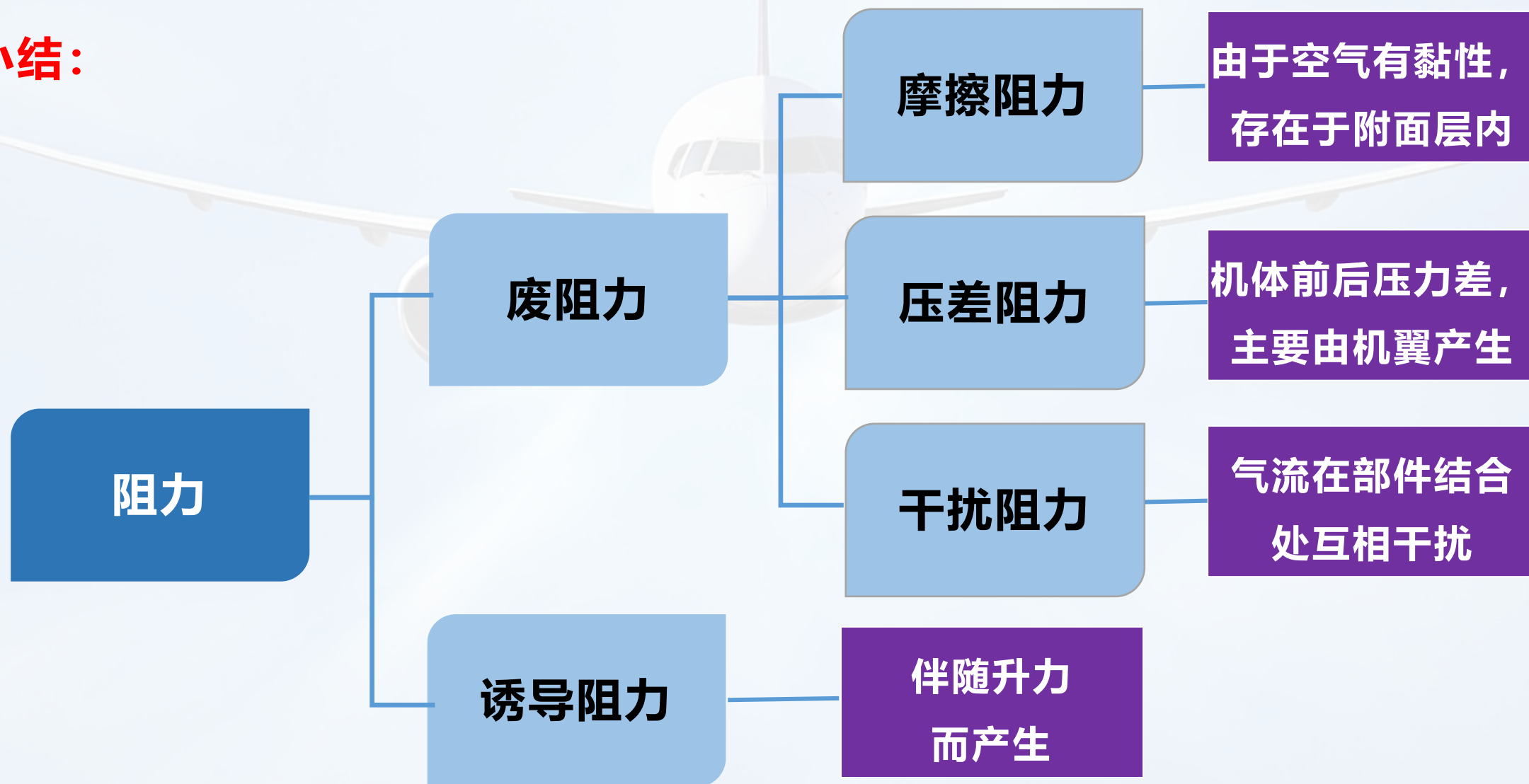
2、阻力的产生

6) 低速飞行时飞机的阻力



有利飞行速度

小结:



1.2.4 作用在飞机上的空气动力

3、升力和阻力的影响因素

1) 飞机的升力公式:

$$L=C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot S$$

□ 空气密度因素

□ 机翼面积因素

2) 飞机的阻力公式:

$$D=C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot S$$

□ 升力系数和阻力系数

3、升力和阻力的影响因素

3) 升力系数和阻力系数:

- 无量纲
- 与机翼的翼型、平面形状以及迎角有关
- 零升力迎角
- 升阻比(气动效率)

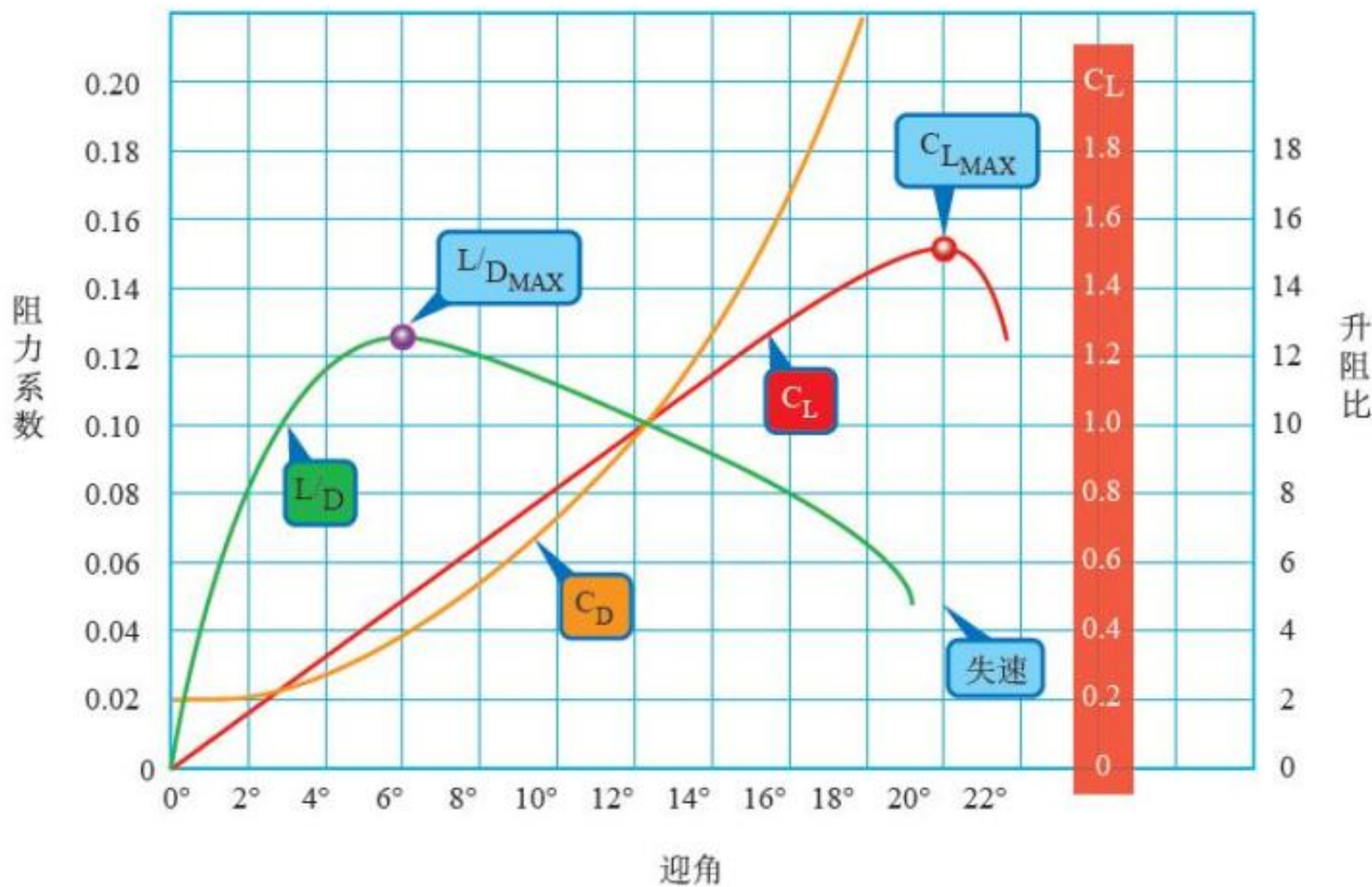


图 2-22 升力系数、阻力系数、升阻比与迎角的关系

1.2.4 作用在飞机上的空气动力

3、升力和阻力的影响因素

4) 飞机大迎角失速:

- 临界迎角(失速迎角)
- 飞机失速
- 失速速度
- 失速速度的影响因素

$$v_{S平} = \left(\frac{2W}{C_{Lmax} \cdot \rho \cdot S} \right)^{1/2}$$

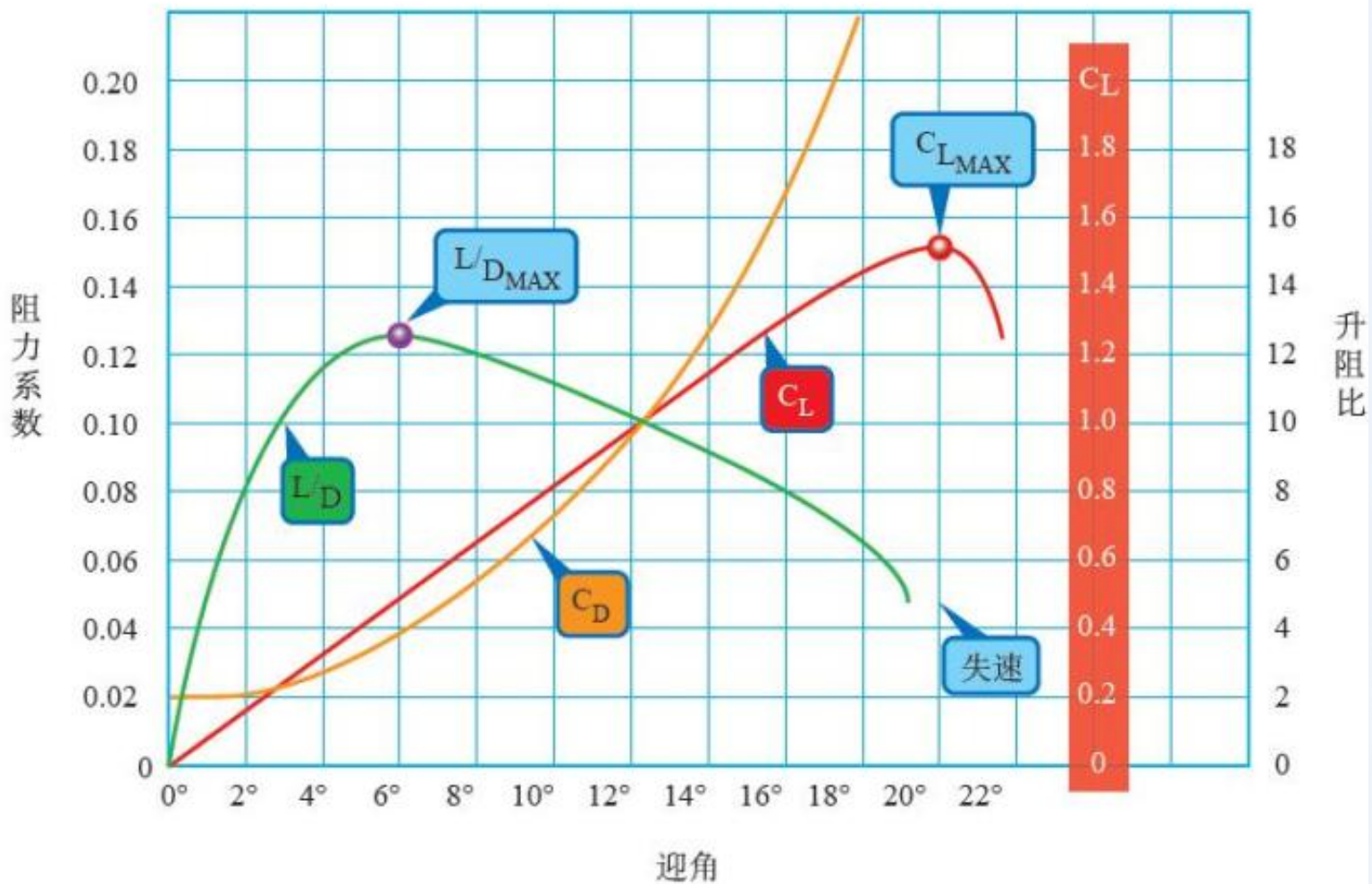
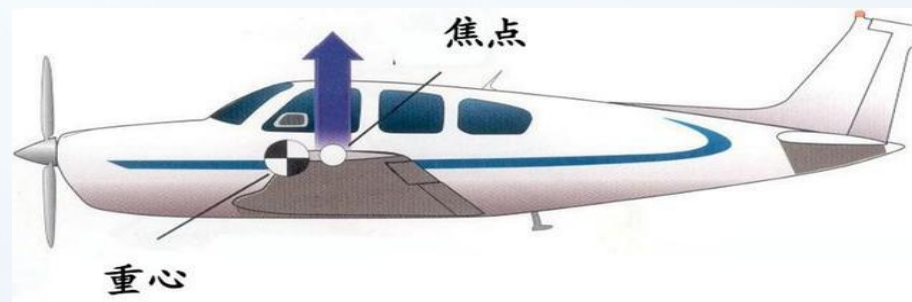
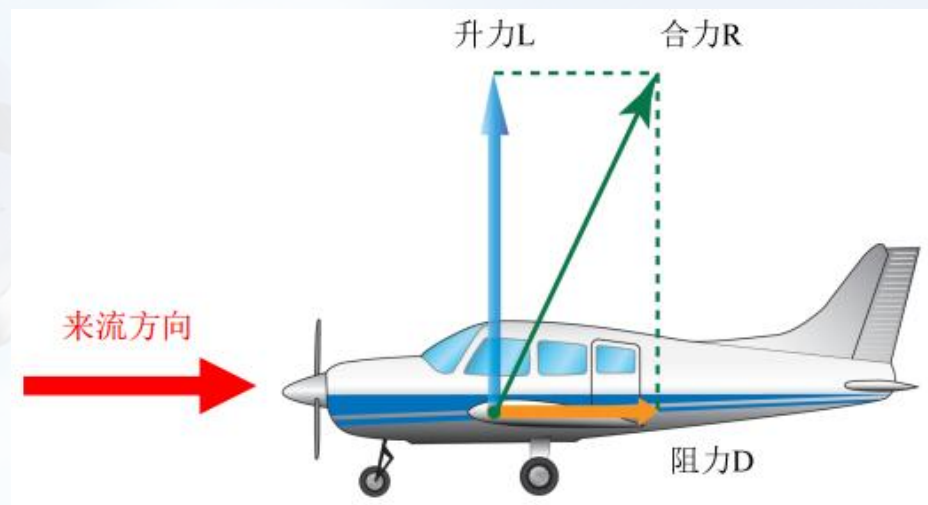


图 2-22 升力系数、阻力系数、升阻比与迎角的关系

4、机翼的压力中心和焦点

- 机翼的压力中心
- 机翼的焦点
- 各自随迎角的变化规律
- 焦点的应用



5、机翼表面积冰的影响

- 改变翼型，升力下降
- 加大迎风面积，增加压差阻力
- 表面变粗糙，增加摩擦阻力
- 结冰不对称，操纵困难
- 过早分离，减小了 CL_{max} 和临界迎角，过早失速
- CL_{max} 减小提高了最小平飞速度，着陆不利



典型的机翼前缘除冰带

小结:

- 升力和阻力公式一定要牢记
- 升力系数和阻力系数随迎角的变化规律
- 升力、阻力的关系
- 临界迎角和失速速度的概念

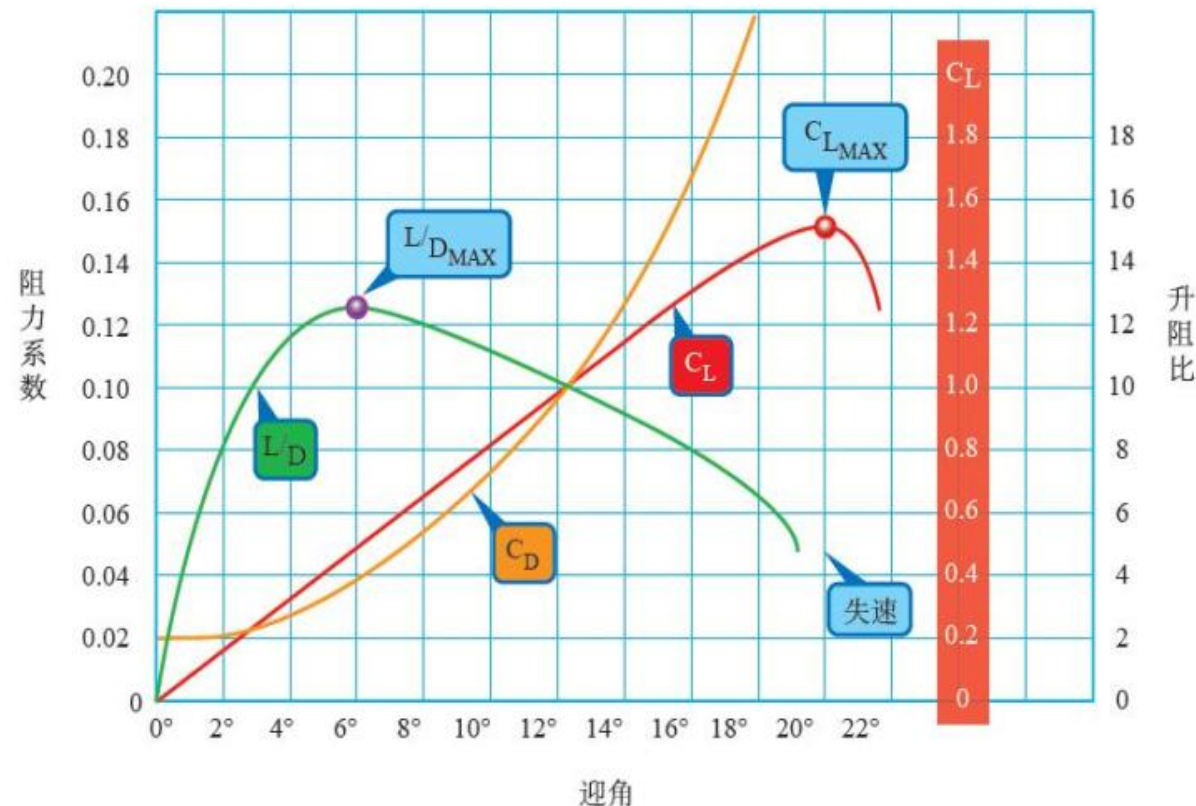



图 2-22 升力系数、阻力系数、升阻比与迎角的关系



1.2.5 高速飞机基本特点 (2H)

目
录

1

空气的可压缩性和飞行马赫数

2

高速飞行气流的加速、减速特性

3

马赫锥、激波、膨胀波的基本概念

4

临界马赫数和临界速度的基本概念

5

声障和热障的基本概念

6

高速飞机气动外形的特点

1、空气的可压缩性和飞行马赫数

□ 空气的可压缩性是造成高速飞行不同于低速飞行的主要原因

□ v -空气局部压力变化的大小

□ a -当地空气被压缩的难易程度

□ $Ma = v/a$ (无量纲,反映压缩程度及影响)

$Ma > 1$, 超音速

$Ma < 1$, 亚音速

1、空气的可压缩性和飞行马赫数

- 速度的变化导致流体温度和内能的变化不能忽略

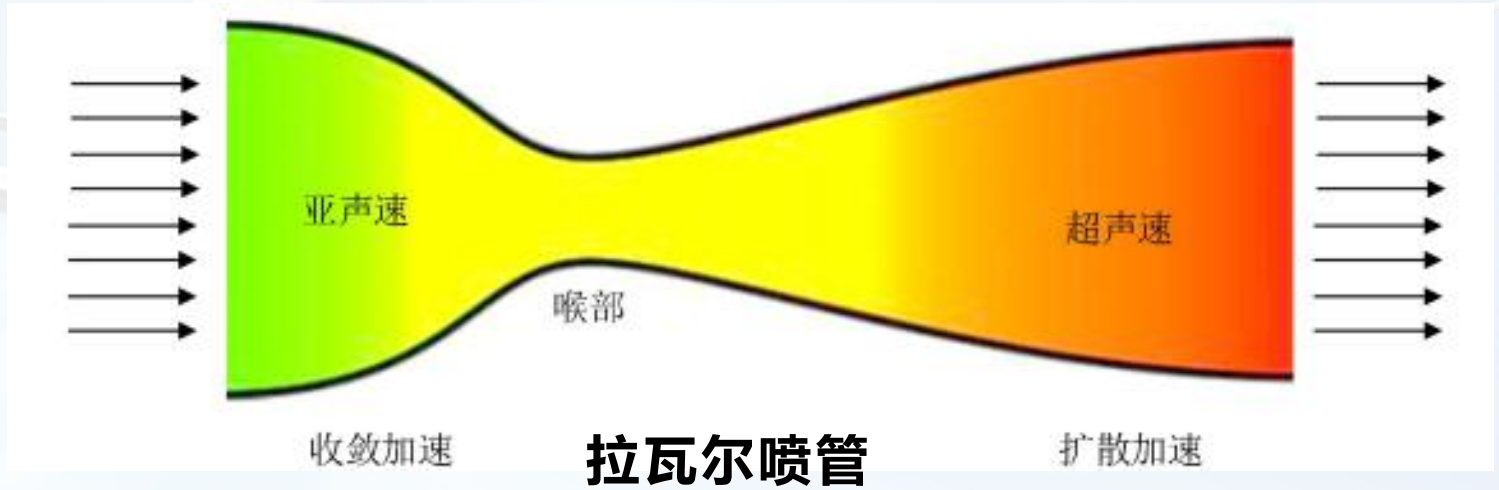
速度的变化	空气其它参数的变化	流体内能量的转换
速度增加	压力、密度、温度、声速都减小,马赫数增加	部分压力能和内能转变为动能,系统总能量不变
速度减小	压力、密度、温度、声速都增大,马赫数减小	部分动能转变为压力能和内能,系统总能量不变

1.2.5 高速飞行基本特点

2、高速飞行气流的加速、减速特性

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \dots\dots\dots$$

- 亚声速气流，通过收缩的流管加速
- 超声速气流，通过扩张的流管加速

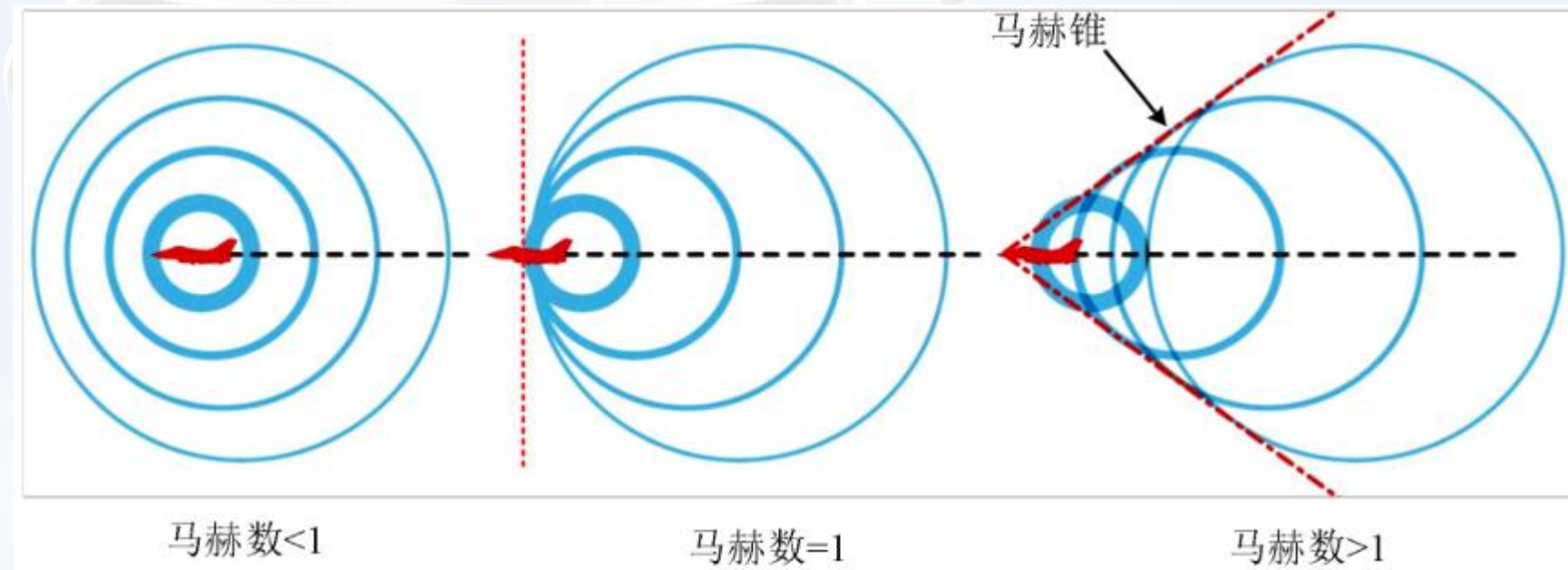


气流 Ma 数	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
流速增加的百分数 ($\Delta v/v$)	皆为 1%							
空气密度变化的百分数 ($\Delta \rho/\rho$)	-0.04%	-0.16%	-0.36%	-0.64%	-1%	-1.14%	-1.96%	-2.56%
流管截面面积变化的百分数 ($\Delta A/A$)	-0.96%	-0.84%	-0.64%	-0.36%	0	0.44%	0.96%	1.65%

3、马赫锥、激波、膨胀波的基本概念

1) 马赫锥

- 马赫锥
- 空间分界面
- 马赫锥的形状
- 多普勒效应
- 音爆

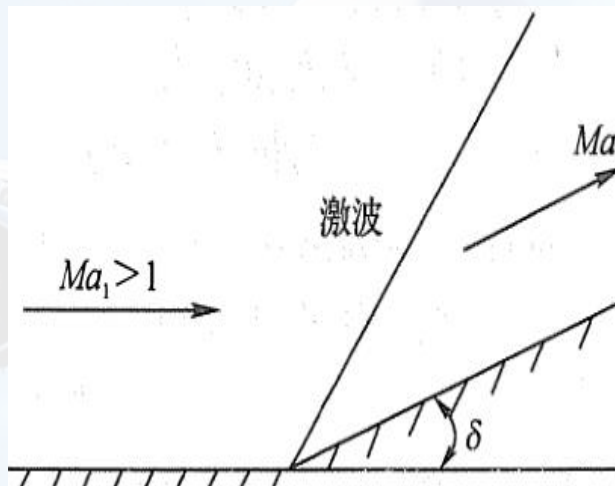


1.2.5 高速飞行基本特点

3、马赫锥、激波、膨胀波的基本概念

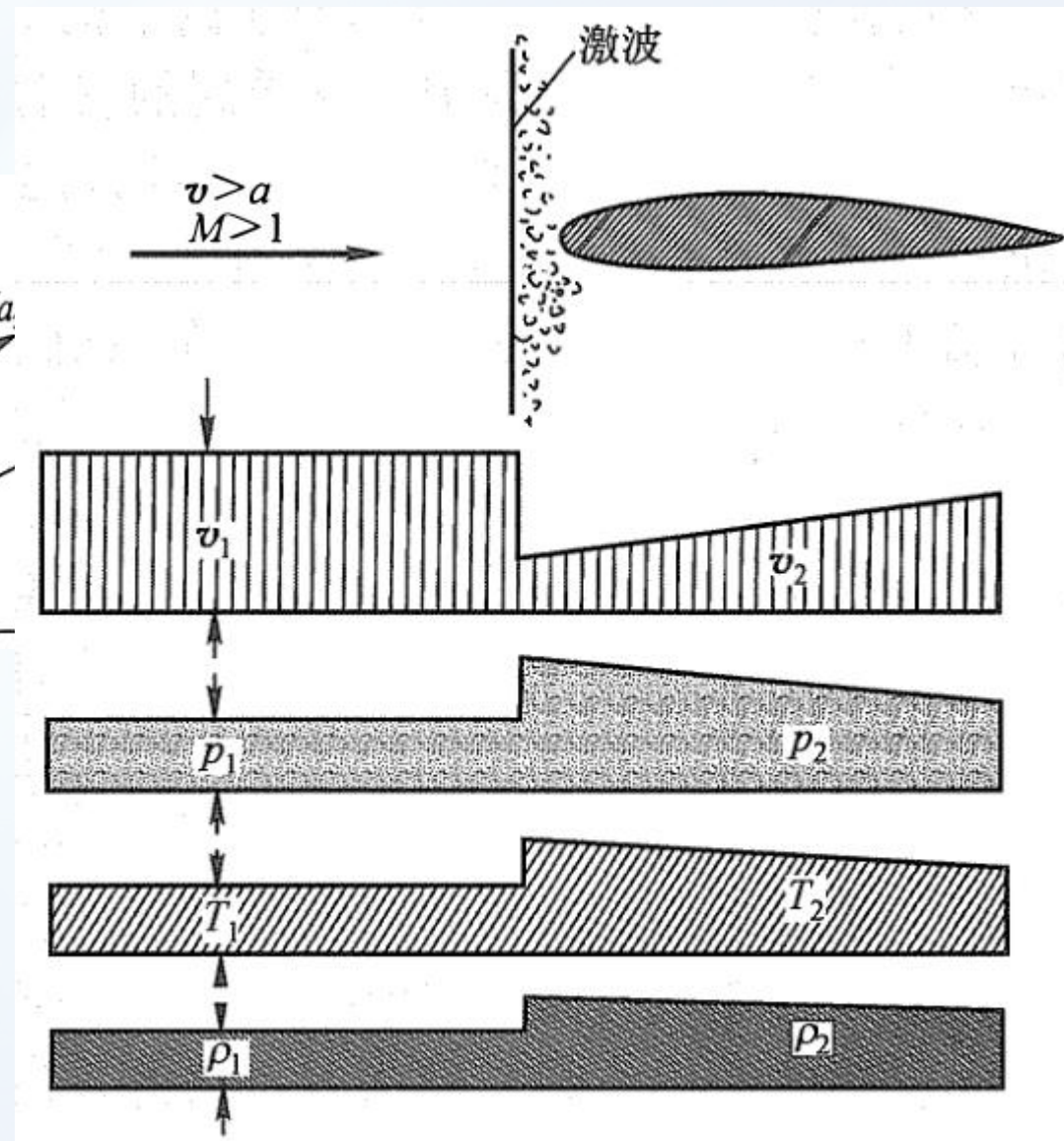
2) 激波

- 激波? 内折角?
- 强扰动波
- 激波前后气流参数的变化
- 传播速度大于声速
- 波阻
- 激波角、正激波、斜激波



□ 超音速气流通过正激波后转变为亚音速气流

□ 通过斜激波后, 可能仍为超音速气流

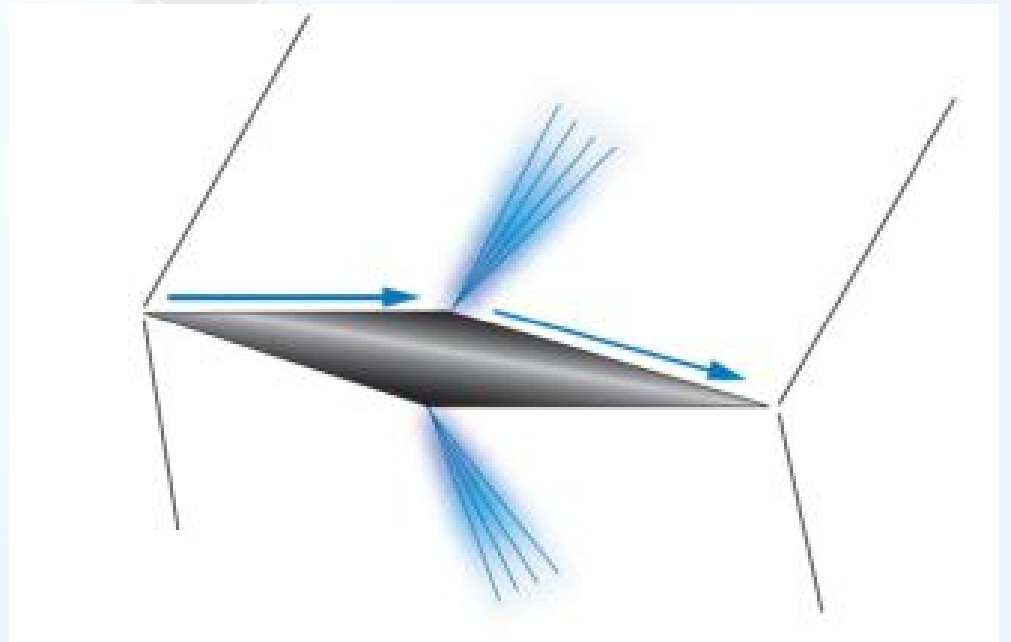
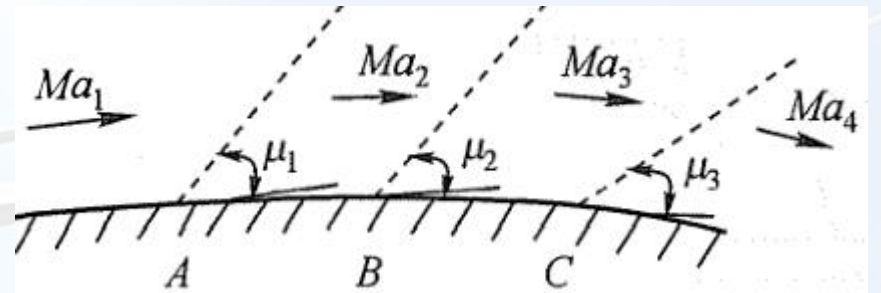


1.2.5 高速飞行基本特点

3、马赫锥、激波、膨胀波的基本概念

3) 膨胀波

- 膨胀波？外折角？
- 弱扰动波
- 流管变粗
- 膨胀加速
- 扇形波
- **超声速气流是通过激波压缩减速**
- **通过膨胀波膨胀加速的**



小结:

速度的变化	空气其它参数的变化
速度增加	压力、密度、温度、声速都减小,马赫数增加
速度减小	压力、密度、温度、声速都增大,马赫数减小

- 亚声速气流, 通过收缩的流管加速
- 超声速气流, 通过扩张的流管加速

- 超声速气流是通过激波压缩减速
- 通过膨胀波膨胀加速的

- 超音速气流通过正激波后转变为亚音速气流
- 通过斜激波后, 可能仍为超音速气流

4、临界马赫数和临界速度的基本概念

□ 临界马赫数?

□ 临界速度?

飞行 $Ma < 1$, 局部 $Ma = 1$

- ✓ 上翼面的气流被加速
- ✓ 在最大速度点处温度最低
声速最小

□ 2000m高空

□ $v = 900 \text{ km/h}$

□ 此高度 $a = 1200 \text{ km/h}$

□ $v_{\text{局}} = 1150 \text{ km/h}$

□ $a_{\text{局}} = 1150 \text{ km/h}$

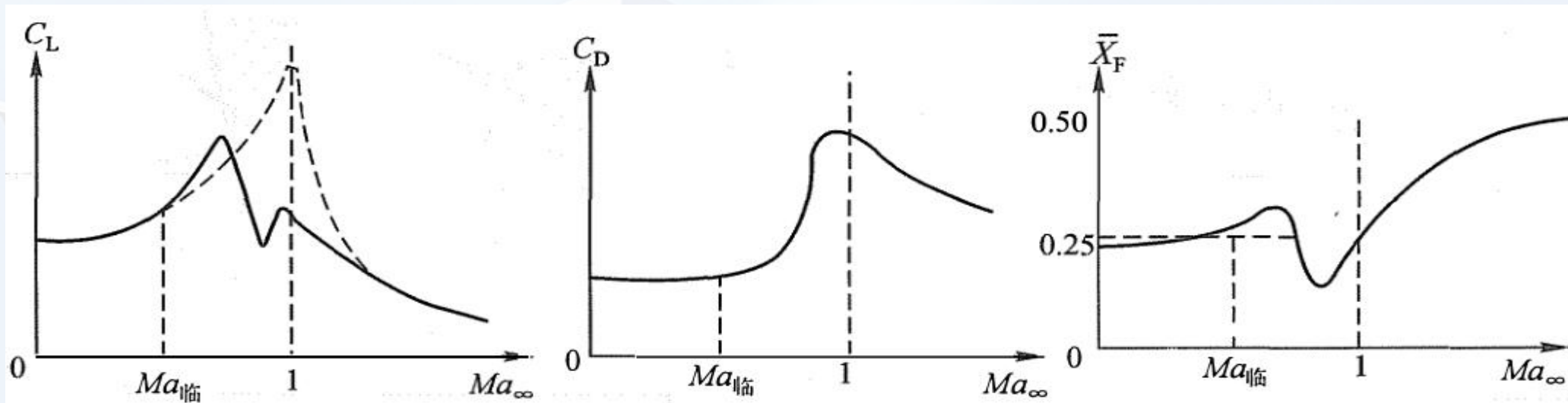
□ $Ma_{\text{局}} = v_{\text{局}} / a_{\text{局}} = 1.0$

□ $Ma_{\text{临}} = 900 / 1200 = 0.75$

□ $v_{\text{临}} = 900 \text{ km/h}$

5、声障和热障的基本概念

1) 声障



□ **Ma > M_临**: 造成飞机失速

- 阻力突然增大
- 升力骤然下降
- 自动低头俯冲

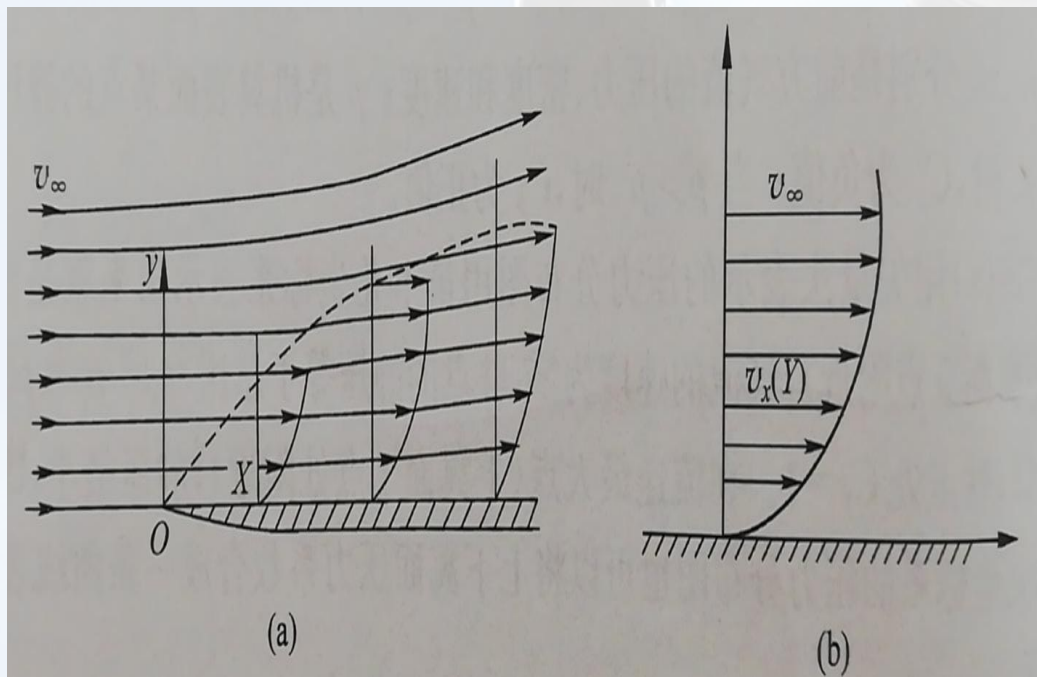
- 飞机抖振
- 操纵效率下降
- 自动横滚

- 根本原因：低速空气动力学原理没有考虑 **空气的压缩性**

5、声障和热障的基本概念

2) 热障

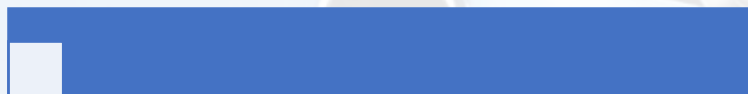
热障：空气动力加热问题



- 舱内人员
- 电子部件
- 非金属材料的极限工作温度
- 机体结构热透
- 需要更加先进的材料科学

6、高速飞机气动外形特点

目的



- 提高临界马赫数
- 改善跨声速空气动力特性
- 减小波阻

措施



- 采用薄翼型
- 后掠机翼
- 小展弦比机翼
- 涡流发生器

6、高速飞机气动外形特点

1) 采用薄翼型

低速翼型

高速翼型



- 弯度较大
- 最大弯度位置靠前
- 相对厚度较大
- 最大厚度位置靠前
- 大展弦比

- 对称翼型
- 最大弯度位置后移
- 薄翼型**
- 最大厚度位置后移
- 小展弦比

激波波阻会随着翼型相对厚度的增加而增大

6、高速飞机气动外形特点

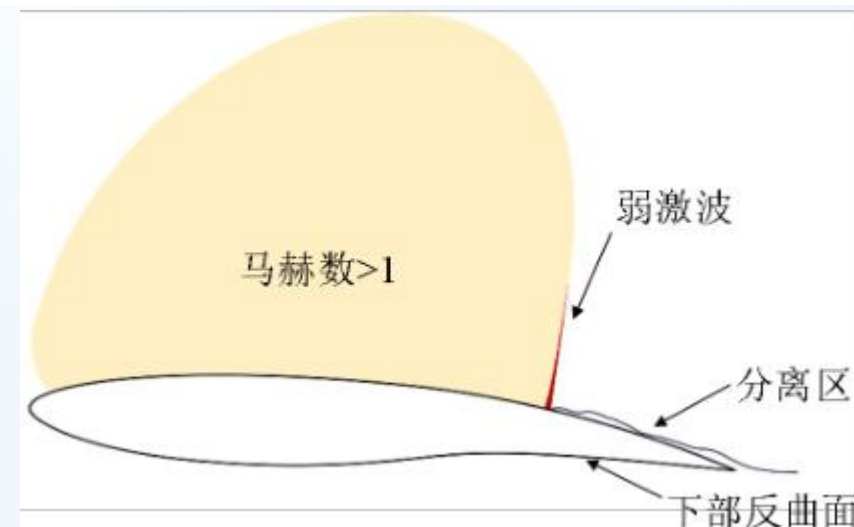
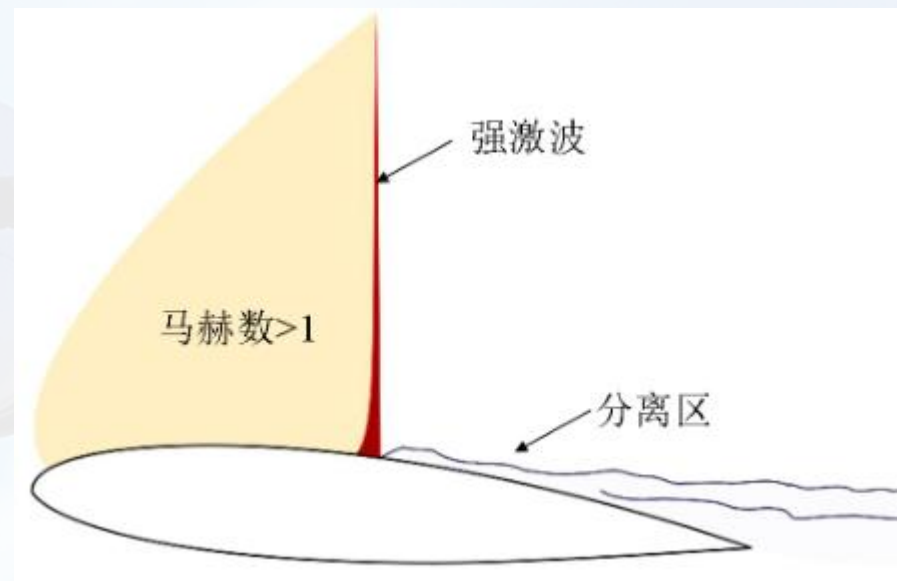
1) 采用薄翼型

□ 层流翼型

- ✓ 高亚声速翼型
- ✓ 提高临界马赫数

□ 超临界翼型

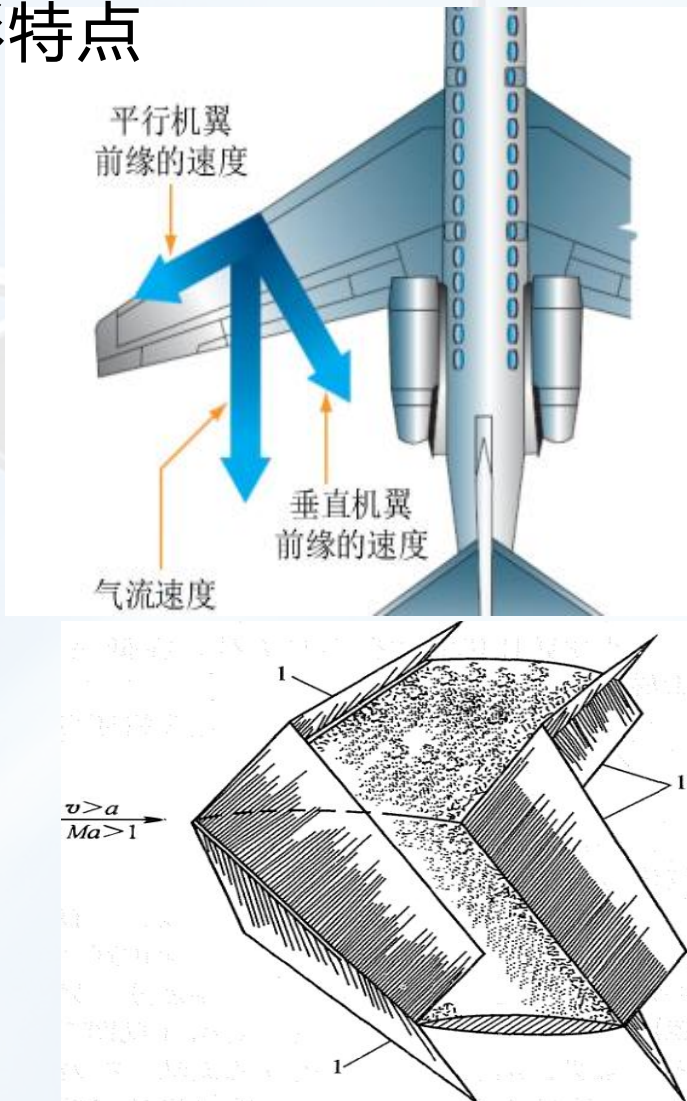
- ✓ 提高临界马赫数
- ✓ 跨声速气动特性较好



6、高速飞机气动外形特点

2) 后掠机翼

- 提高临界马赫数
- 后掠角越大，提高效果越明显
- 减小波阻



缺点:

- 低速特性不好
- 失速特性不好 (翼刀)
- 结构的受力形式不好
- 民航飞机后掠角30度

6、高速飞机气动外形特点

3) 小展弦比机翼

- 提高临界马赫数
- 减小波阻



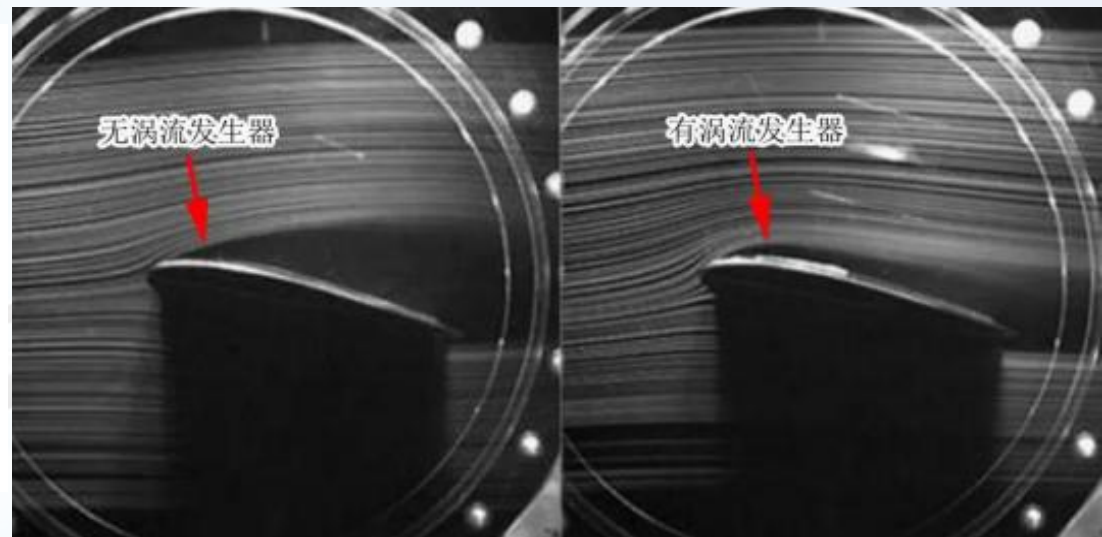
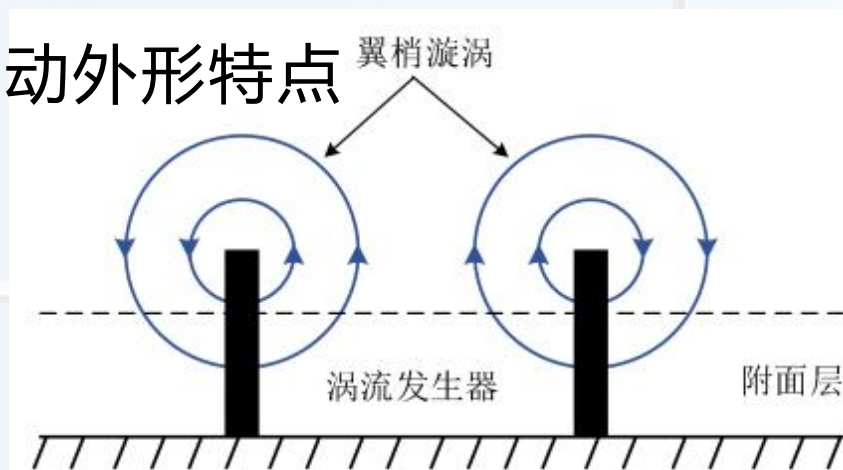
美国F35战斗机

缺点:

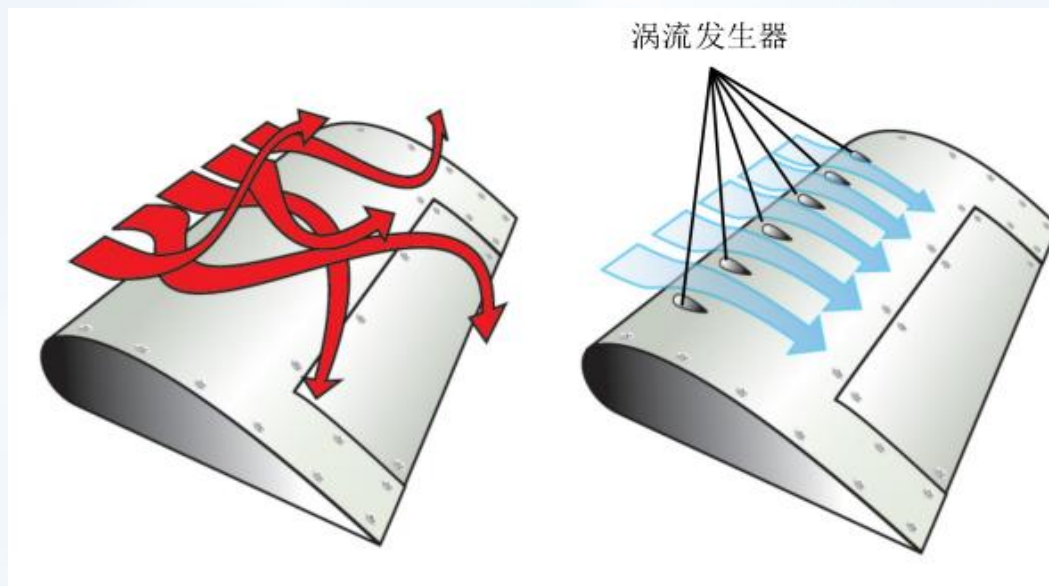
- 低速诱导阻力大
- 起飞着陆性能不好

6、高速飞机气动外形特点

4) 涡流发生器



- 低展弦比小翼段
- 生成很强的翼尖旋涡
- 旋涡从外部气流中将能量带进附面层
- 抑制附面层分离



- 低速飞机上：
防止附面层分离和增升
- 高亚声速和跨声速飞机上：
推迟激波分离

整章总结:

序号	本节重点知识要点
1	大气的组成、大气层的结构、大气的重要物理参数、国际标准大气 (ISA)
2	飞行相对运动原理、连续介质假设、流体运动的基本概念、连续方程与伯努利方程
3	机翼的翼型和基本参数、机翼平面形状和基本参数、机翼相对机身的安装位置
4	升力的产生、阻力的产生、升力和阻力的影响因素、机翼的压力中心和焦点、机翼表面结冰的影响
5	空气的可压缩性和飞行马赫数、高速飞行气流的加速、减速特性、马赫锥、激波、膨胀波的基本概念、临界马赫数和临界速度的基本概念、声障和热障的基本概念、高速飞机气动外形的特点

序号	思考题
1	飞机的升力是如何产生的？
2	飞机的摩擦阻力、压差阻力、干扰阻力是如何产生的？
3	飞机的诱导阻力是如何产生的？
4	影响飞机升力和阻力的因素有哪些？
5	什么是临界迎角？
6	高亚音速飞机飞行存在哪些问题？如何通过气动外形的设计来改善高音速飞机的气动性能？



感谢聆听，欢迎指正