北航宇航学院

空气动力学(32学时)

主讲：覃粒子　　陈　兵

qlz@buaa.edu.cn　　Markchien@buaa.edu.cn

沙河主楼D510，13911744896　　沙河主楼D519，13683012881

2024年 春季学期

第九章 几个应用案例

- 进气道流动问题
- 旋转机械流动问题
- 机翼空气动力学特性

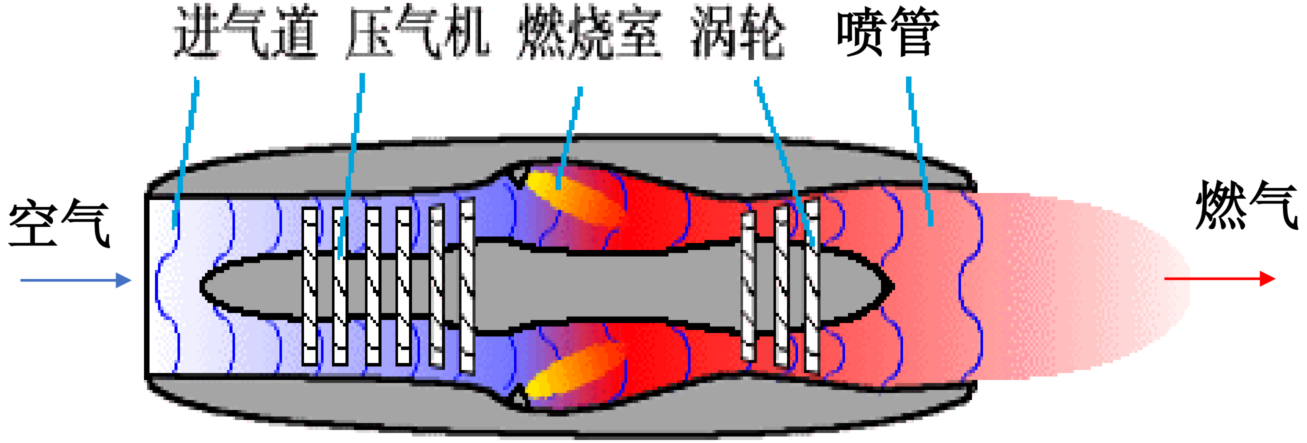
发动机/推进领域的几个应用实例

9.1 进气道流动问题

- 吸气式发动机简介
- 超声速进气道的压缩形式及作用
- 内压式超声速进气道流动问题
- 进气道的主要性能指标

9.1.1 吸气式发动机简介

- **最典型的吸气式发动机（涡喷发动机）**



涡喷发动机原理

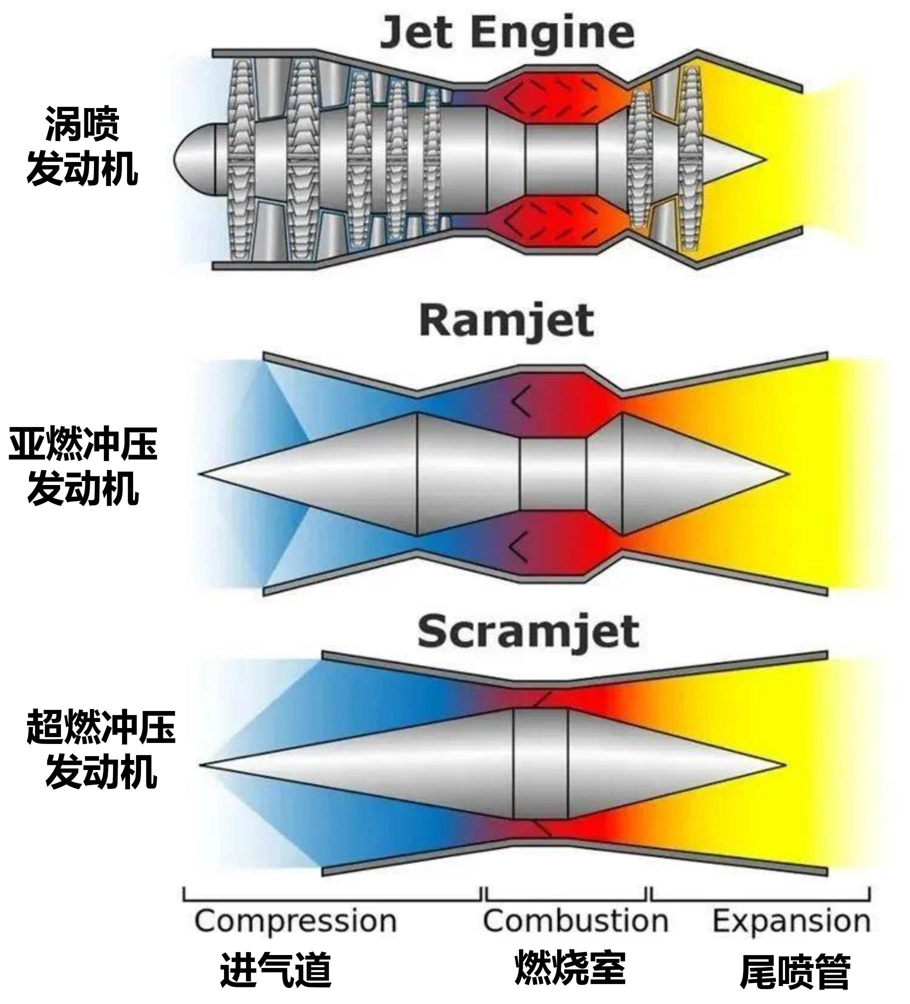
- 就空气喷气发动机而言，涡轮喷气发动机的出现，解决了逾越“音障”问题，实现了跨音速和超音速飞行。目前，涡轮喷气发动机，能够适用的上限飞行马赫数为3.0左右。

- 随着飞行马赫数的进一步提高，涡轮喷气发动机遇到了新的问题：
  - ✓ 涡轮叶片所能承受的温度（1800~2000K）使燃烧室中的加热量受到了限制
  - ✓ 压气机成了“多余”的部件。

- 冲压发动机是一种典型的吸气式发动机，是空气喷气发动机在更高飞行速度领域发展的延伸！

北京航空航天大學 BEIHANG UNIVERSITY

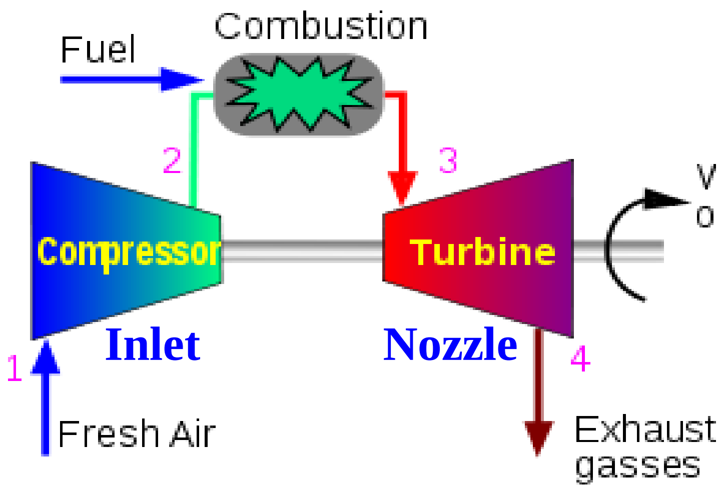
9.1.1 吸气式发动机简介



三种吸气式发动机

由三大部件组成：

- 进气道 (Inlet/intake)
- 燃烧室 (Combustion chamber/combustor)
- 尾喷管(Nozzle)



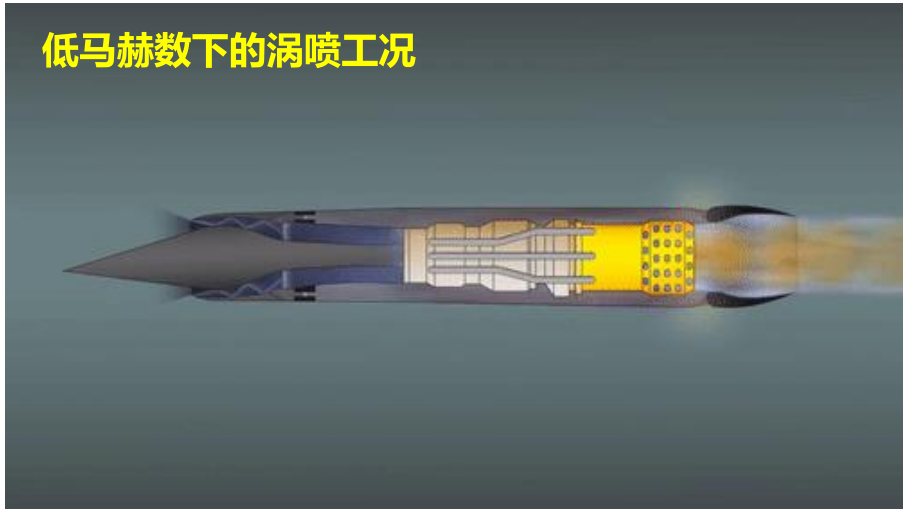
布莱顿（Brayton）循环

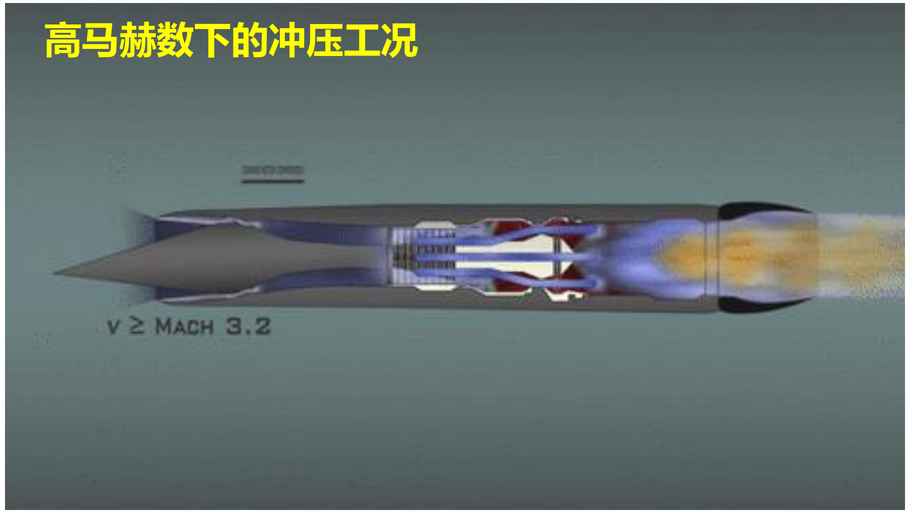
理想循环都是布莱顿循环：

- 1-2：等熵压（进气道）
- 2-3：等压加热（等截面加热管流）
- 3-4：等熵膨胀（喷管）
- 4-1：等压散热

9.1.2 超声速进气道的压缩形式及作用

- 初识进气道

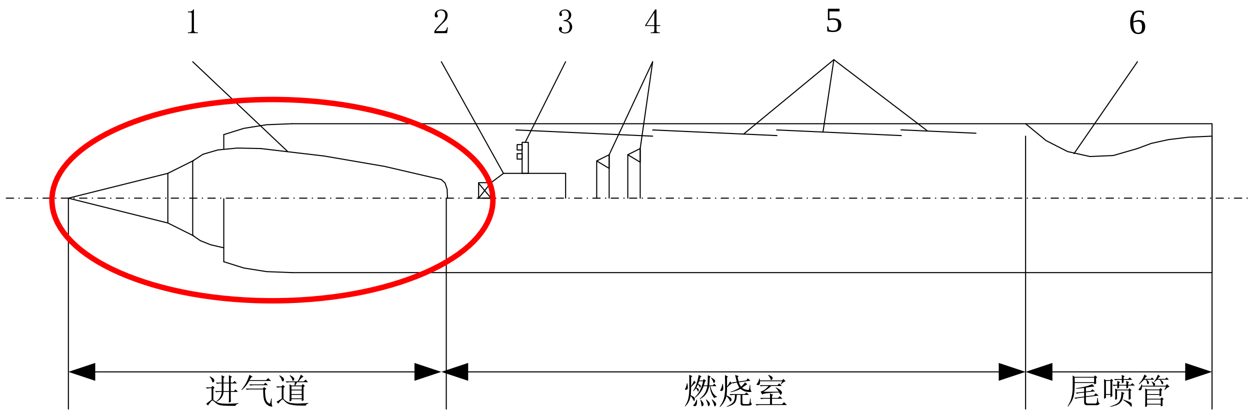




SR-71黑鸟及其组合循环发动机

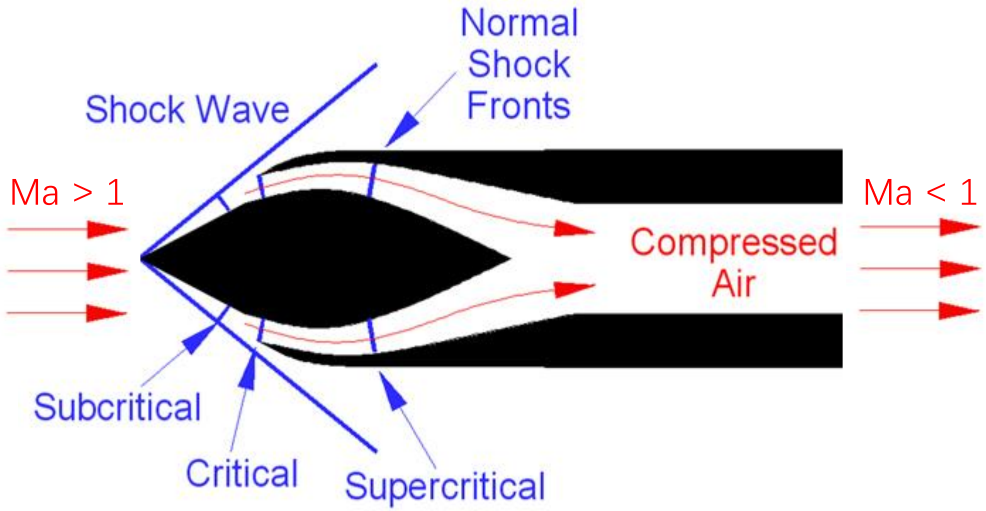
9.1.2 超声速进气道的压缩形式及作用

▫ 初识进气道



1——中心锥；2——预燃室；3——喷嘴环；4——火焰稳定器；
5——火焰筒；6——尾喷管

典型亚燃冲压发动机剖面图

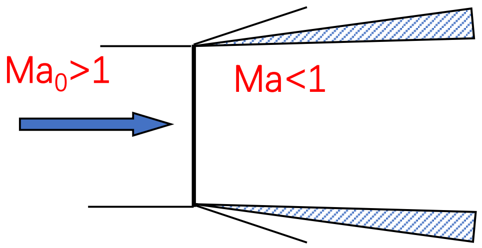


典型超声速进气道流动情况

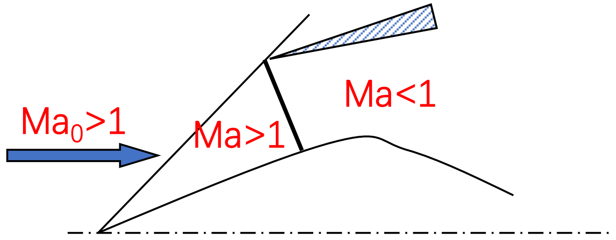
9.1.2 超声速进气道的压缩形式及作用

▫ 超声速进气道分类

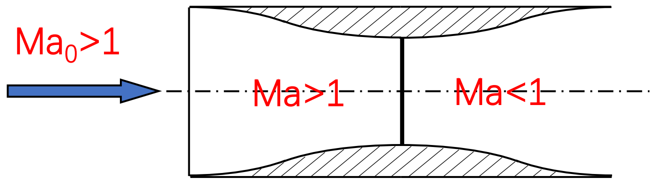
➢ **压缩形式：** 超声速压缩完成的部位不同分



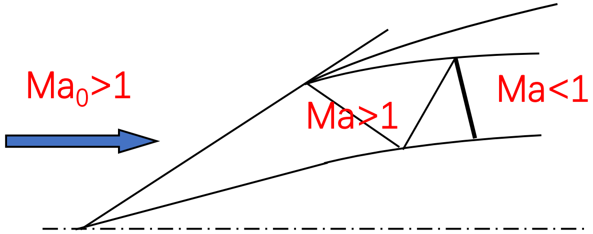
皮托式进气道



外压式进气道



内压式进气道



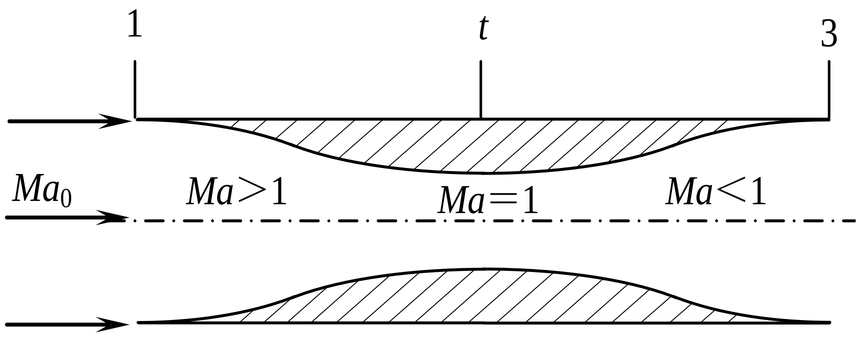
混压式进气道

➢ **进气道的作用**

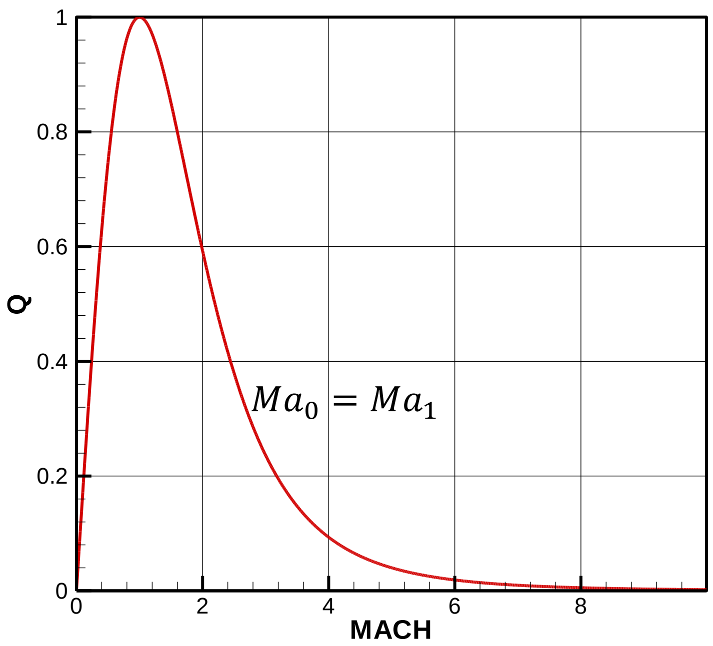
- ✓ 冲压发动机属于典型的吸气式动力系统，进气道是指发动机流管中位于燃烧室入口之前的部分，它担负着为发动机从大气中引入满足发动机要求的空气的任务
- ✓ 还起着将低压超声速来流减速增压的作用，从而使进入燃烧室的空气流速与燃烧室中火焰传播的速度相适应

9.1.3 内压式超声速进气道流动问题

□ 最佳流动状态/设计状态



内压式进气道的最佳流动状态



流量函数随马赫数的变化

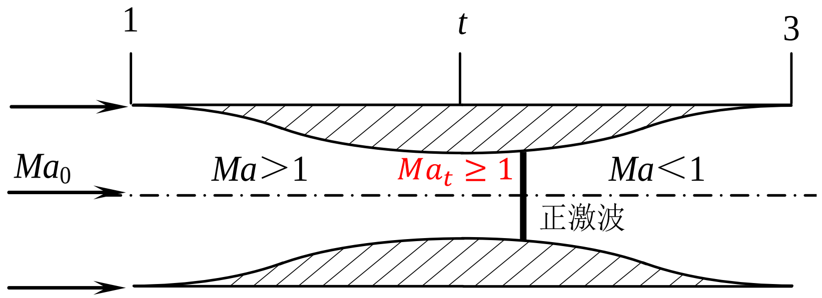
设计马赫数，记为$Ma_D = Ma_1$

$$A_t/A_1 = q(\mathrm{Ma}_1)$$

北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

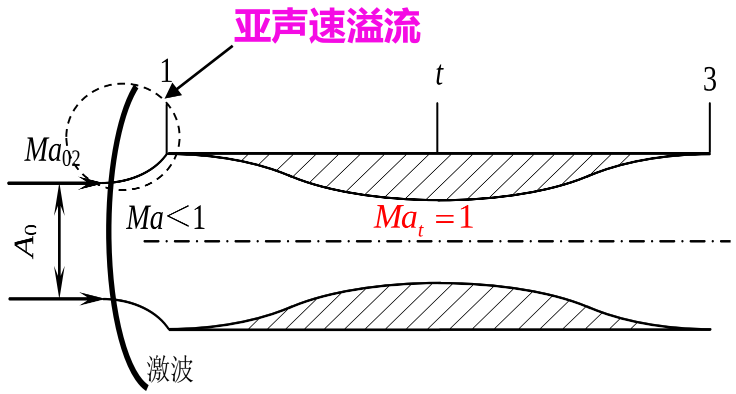
9.1.3 内压式超声速进气道流动问题

▫ 起动问题



内压式进气道——起动状态

喉道下游正激波



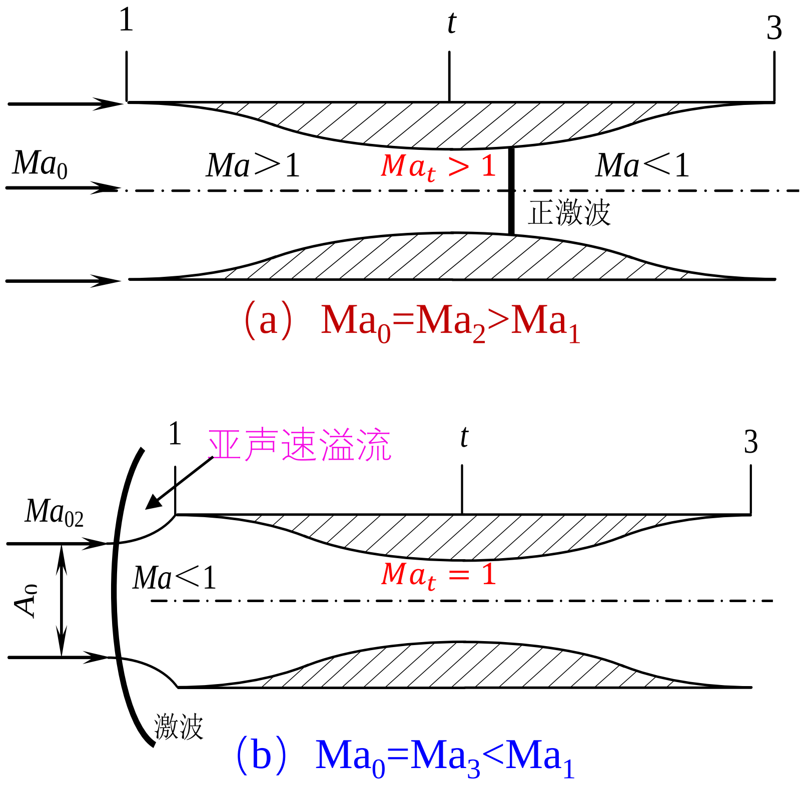
内压式进气道——不起动状态

正激波被推出进气道

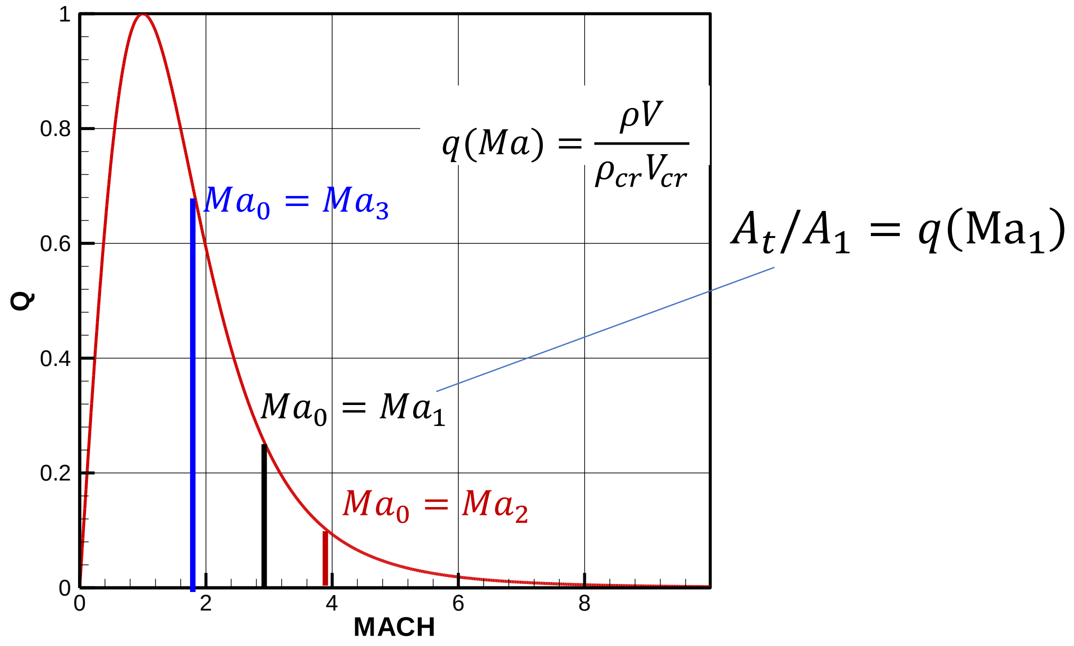
9.1 进气道流动问题

9.1.3 内压式超声速进气道流动问题

▫ 起动特性



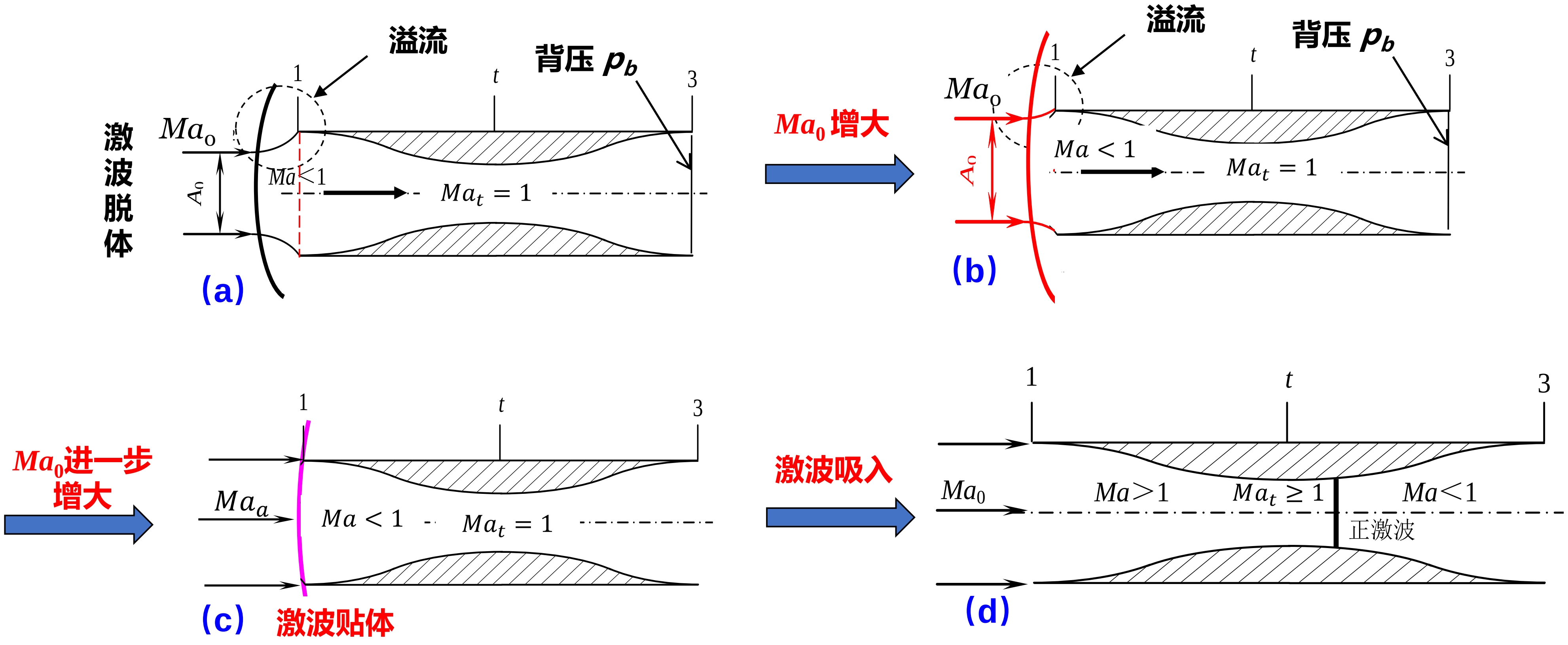
内压式进气道的非设计状态



流量函数随马赫数的变化

9.1.3 内压式超声速进气道流动问题

▫ 起动措施——增大来流Ma



内压式进气道起动过程（增大Ma）

9.1.3 内压式超声速进气道流动问题

▫ 起动措施——增大来流Ma

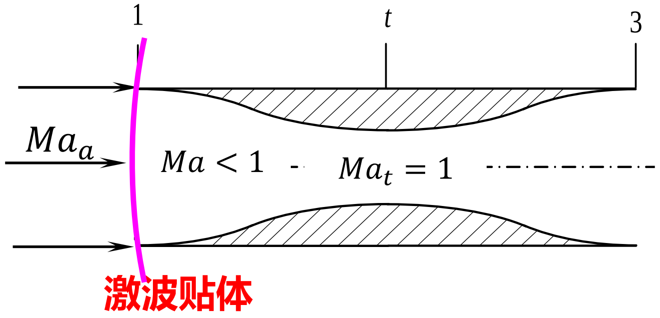
$$K\frac{p_{t0}}{\sqrt{T_{t0}}}A_0 q(\lambda_0)=K\frac{p_{tt}}{\sqrt{T_{tt}}}A_t q(\lambda_t) \quad q(\lambda_t)\to 1.0$$

$$p_{tt}=\sigma(\lambda_0)p_{t0} \qquad T_{tt}=T_{t0}$$

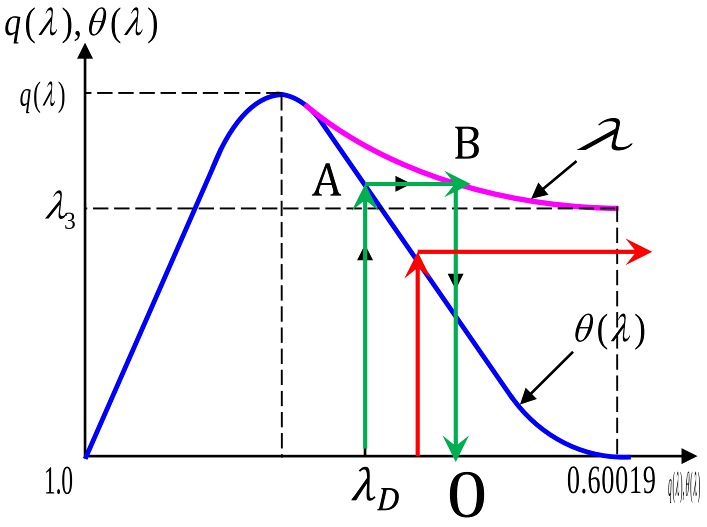
$$\frac{A_t}{A_0}=\frac{q(\lambda_0)}{\sigma(\lambda_0)} \qquad q(\lambda) \qquad 1.0$$

$$\theta(\lambda_3)=q(\lambda_D)=\frac{A_t}{A_0}$$

Ma_0进一步增大



激波贴体状态



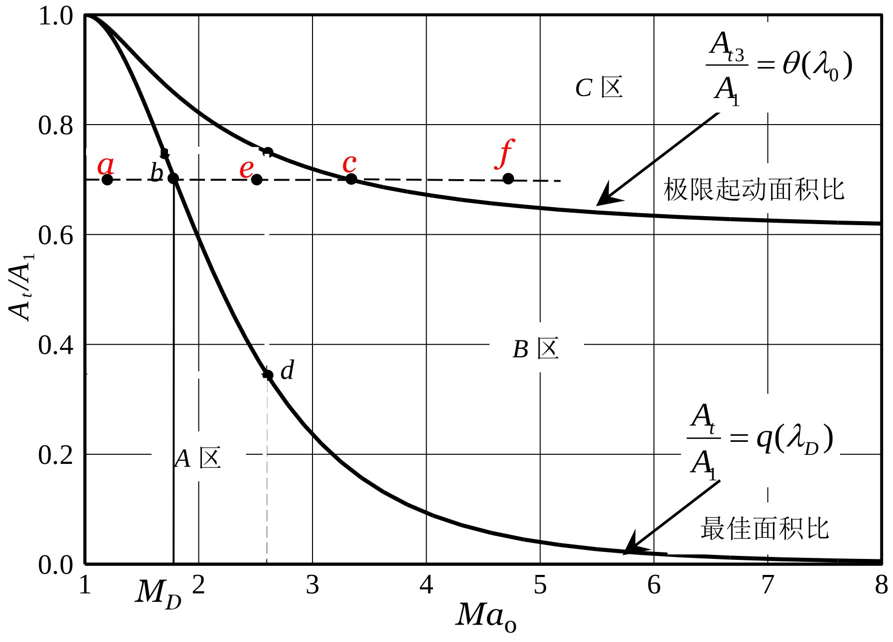
气动函数曲线

设计马赫数和起动马赫数对照表

M_D	1.2	1.4	1.59	1.75	1.908	1.98
M_3	1.24	1.59	2.12	2.98	5.6	∞

9.1.3 内压式超声速进气道流动问题

▫ 起动特性



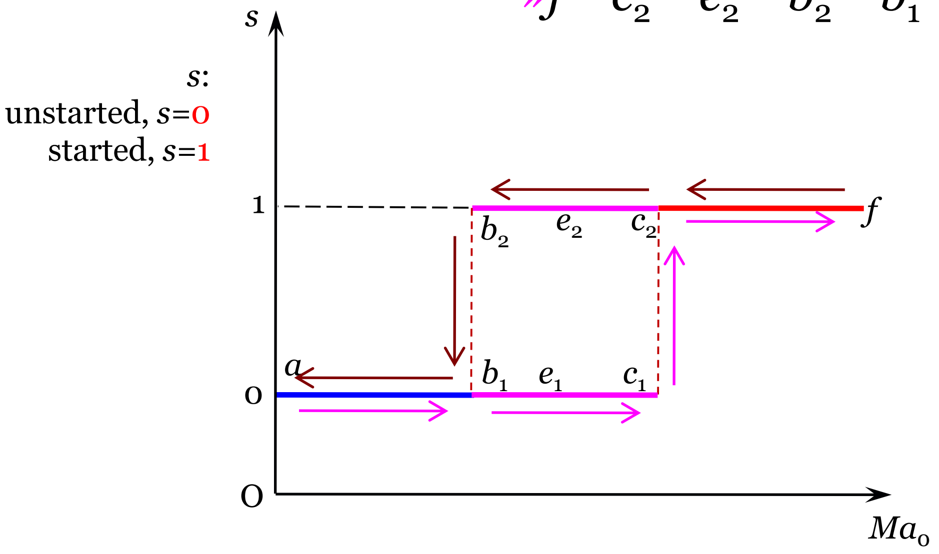
内压式进气道起动曲线

✓ 加速过程

» $a \to b_1 \to e_1 \to c_1 \to c_2 \to f$

✓ 减速过程

» $f \to c_2 \to e_2 \to b_2 \to b_1 \to a$

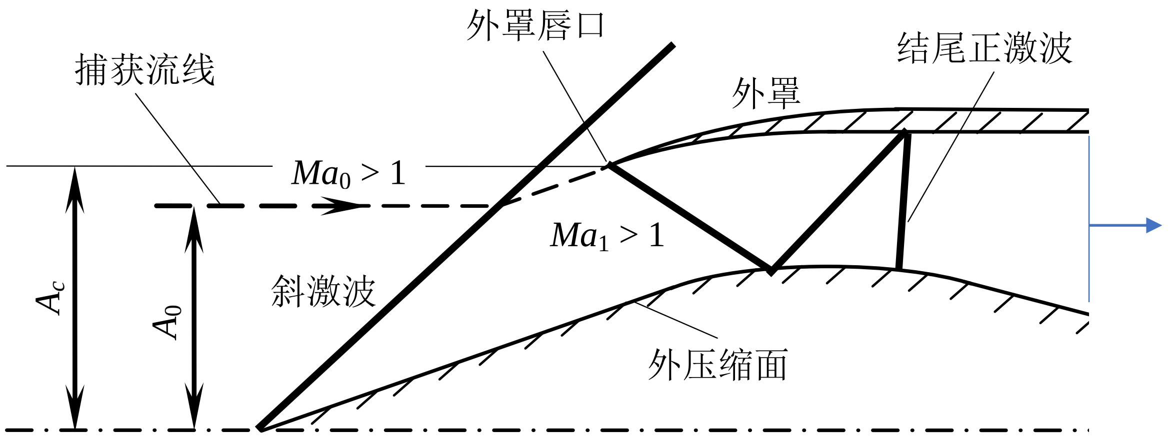


内压式进气道起动迟滞环

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.1.4 进气道的主要性能指标

- 总压恢复系数σ $\quad \sigma = p_{t3}/p_{t0}$
- 流量捕获系数φ $\quad \phi = \dfrac{\dot{m}}{\dot{m}_c}$
- 阻力系数C_D $\quad C_D = \dfrac{D}{A_0 \times \rho_0 V_0^2 / 2}$
- 压升p_r $\quad p_r = \dfrac{p_3}{p_0}$
- 温升ψ $\quad \psi = \dfrac{T_3}{T_0}$



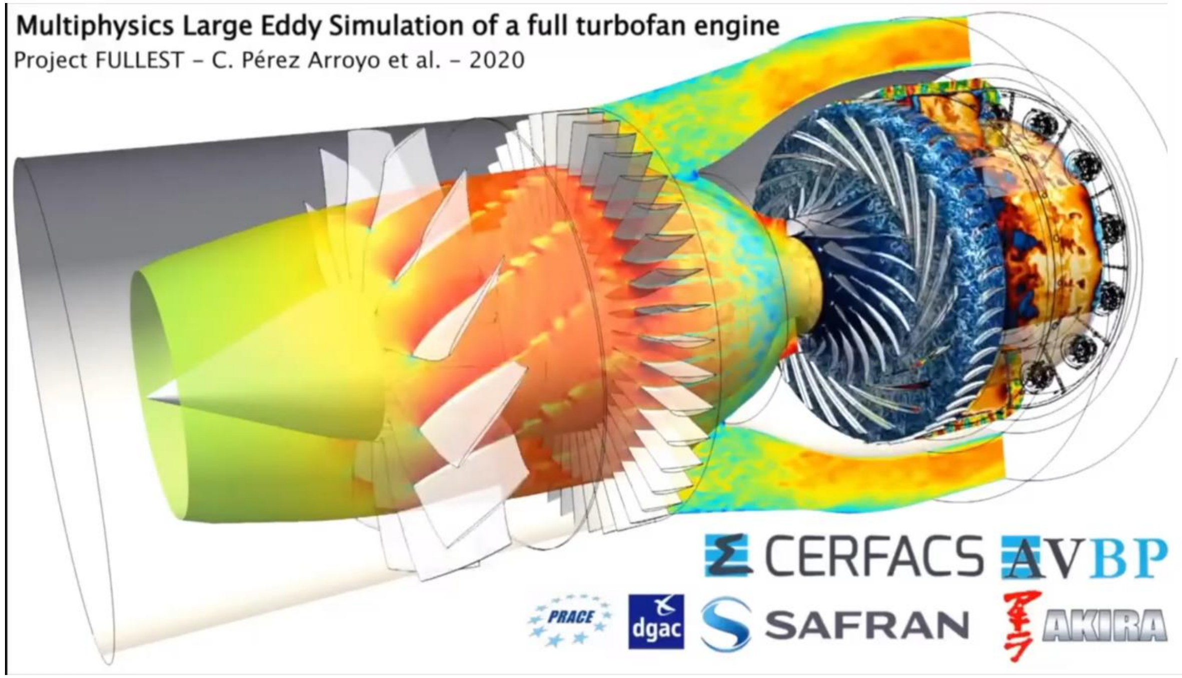
进气道质量捕获系数计算示意图

9.2 旋转机械流动问题

- 发动机中的旋转机械
- 动量矩方程
- 一个应用实例

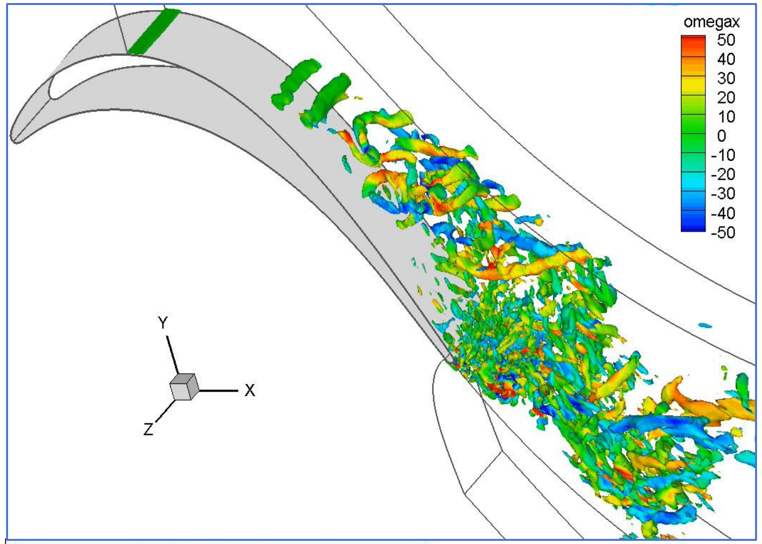
动量矩守恒定律：流体与旋转机械（比如叶轮）作用问题

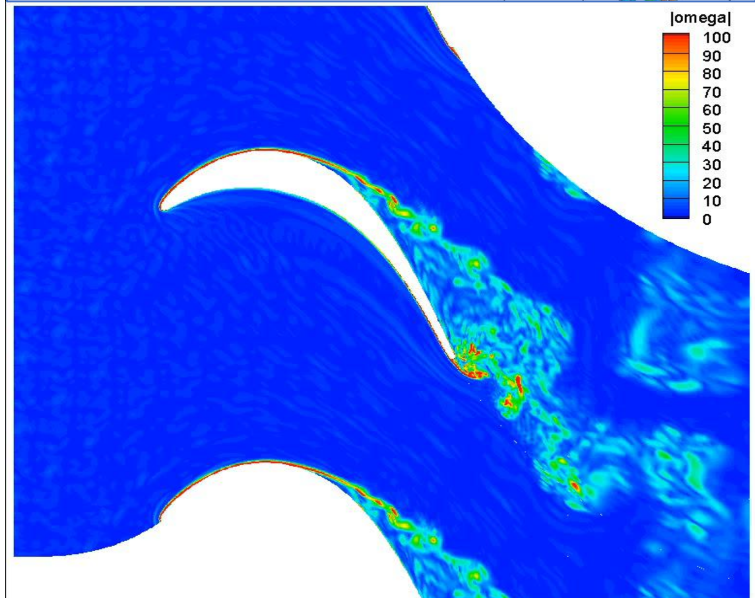
9.2.1 发动机中的旋转机械

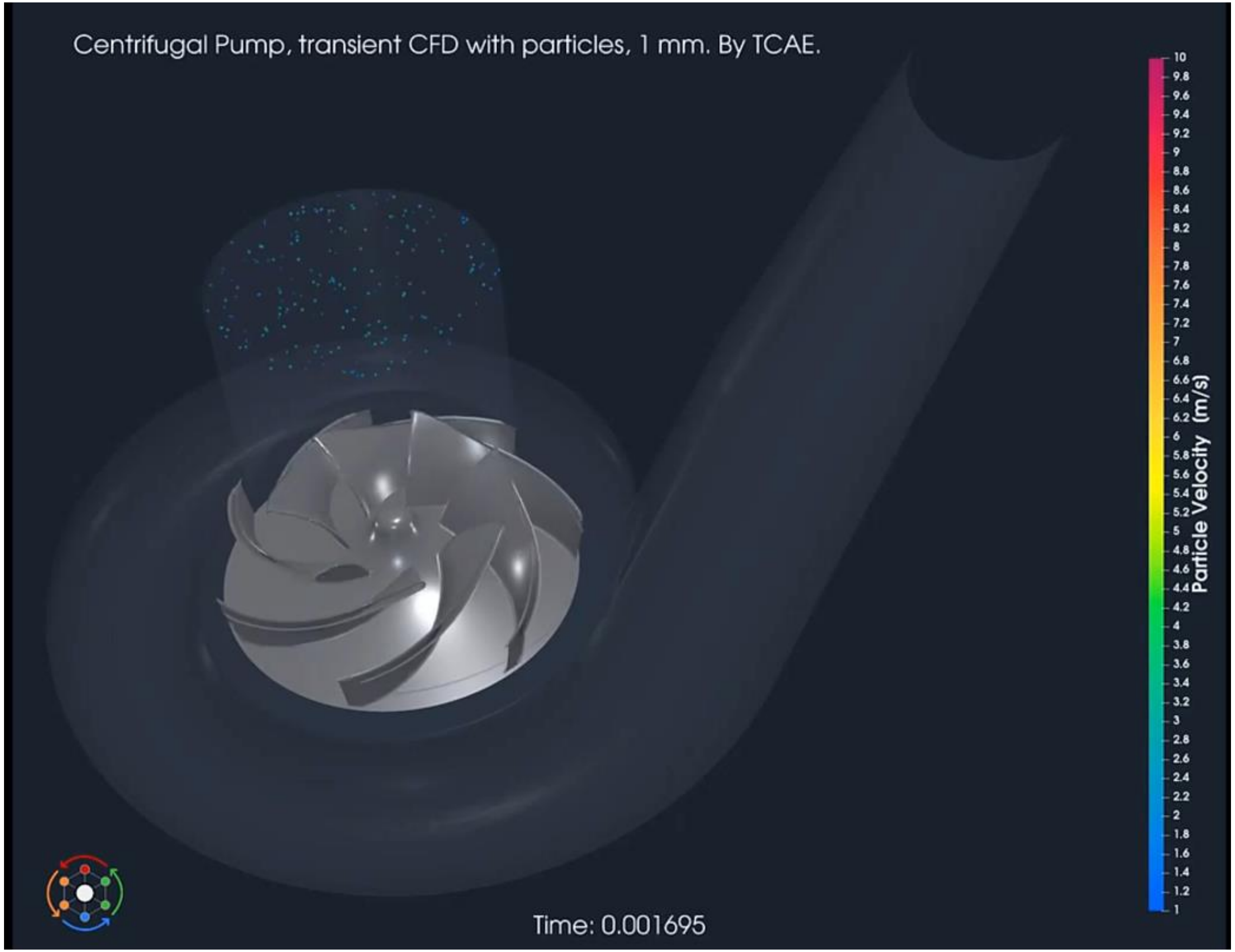


典型叶轮机械中流体流动

9.2.1 发动机中的旋转机械



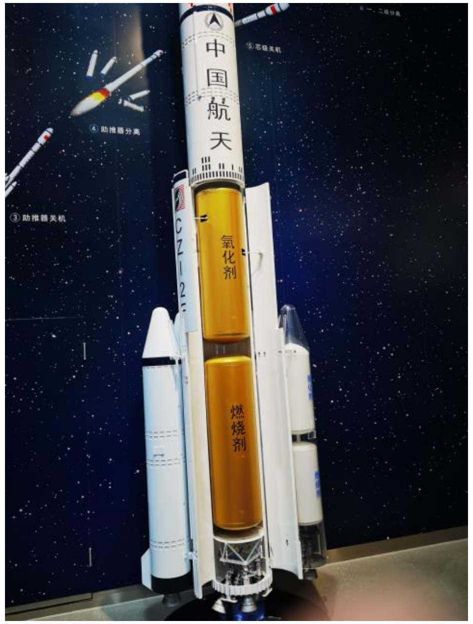


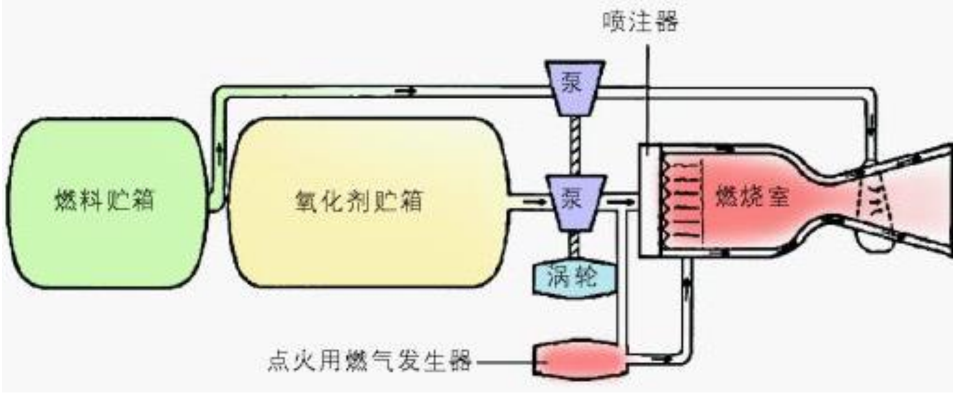


典型叶轮机械中流体流动

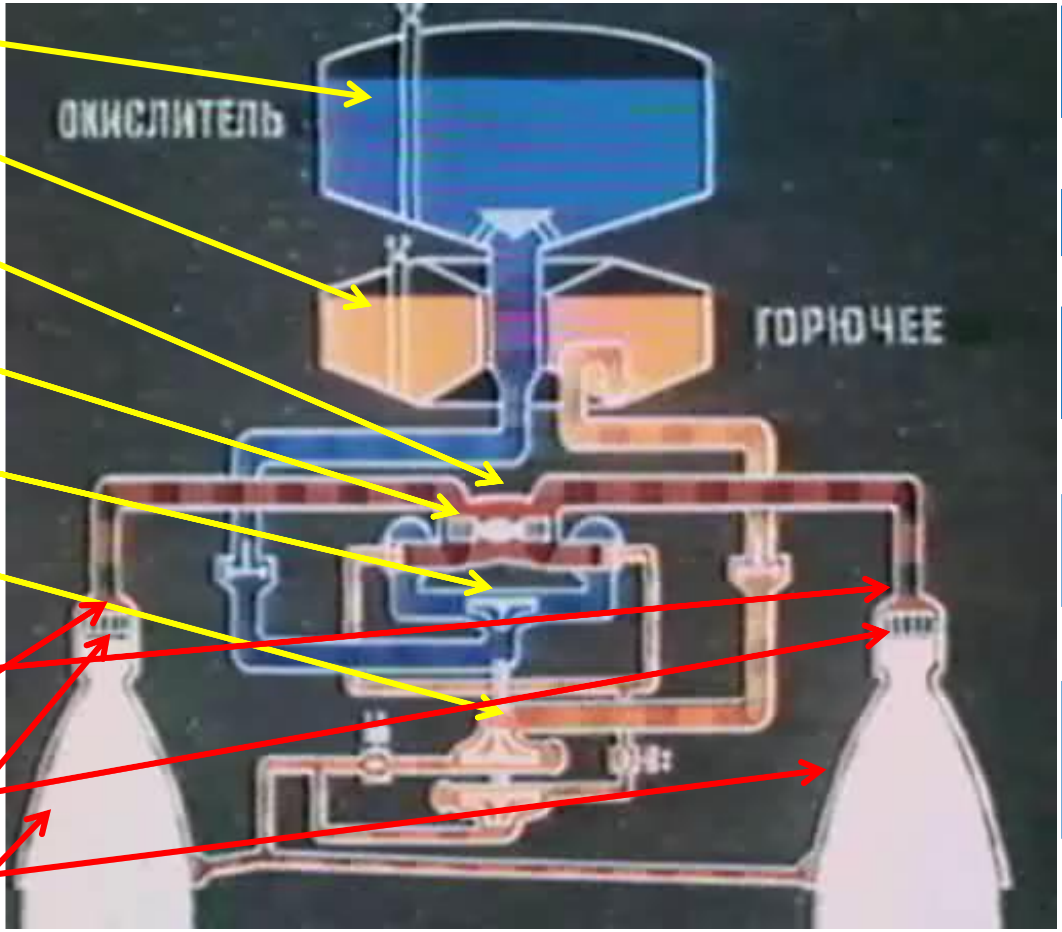
9.2 旋转机械流动问题

9.2.1 发动机中的旋转机械





氧化剂贮箱
燃料贮箱
涡轮
预燃室
氧化剂泵
燃料泵
喷注器
燃烧室
喷管



大容器内液体力学

管路流动

三维旋转液体流动

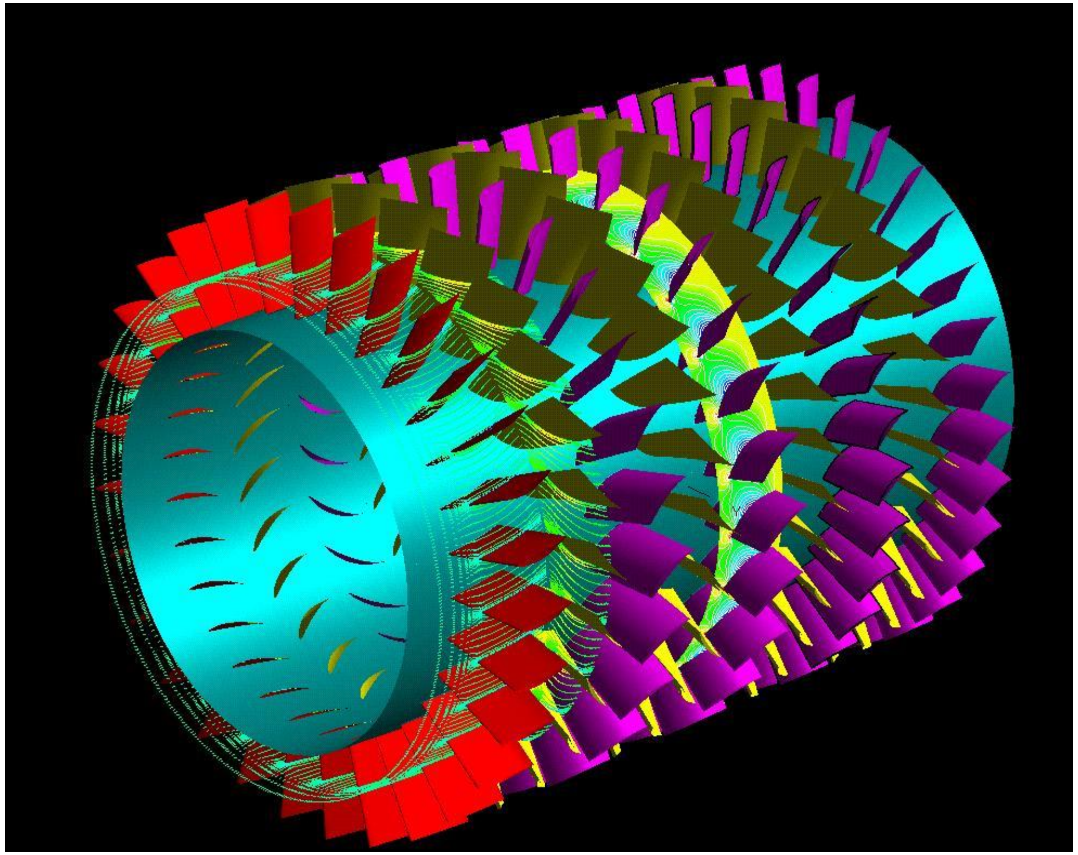
液体雾化两相流动

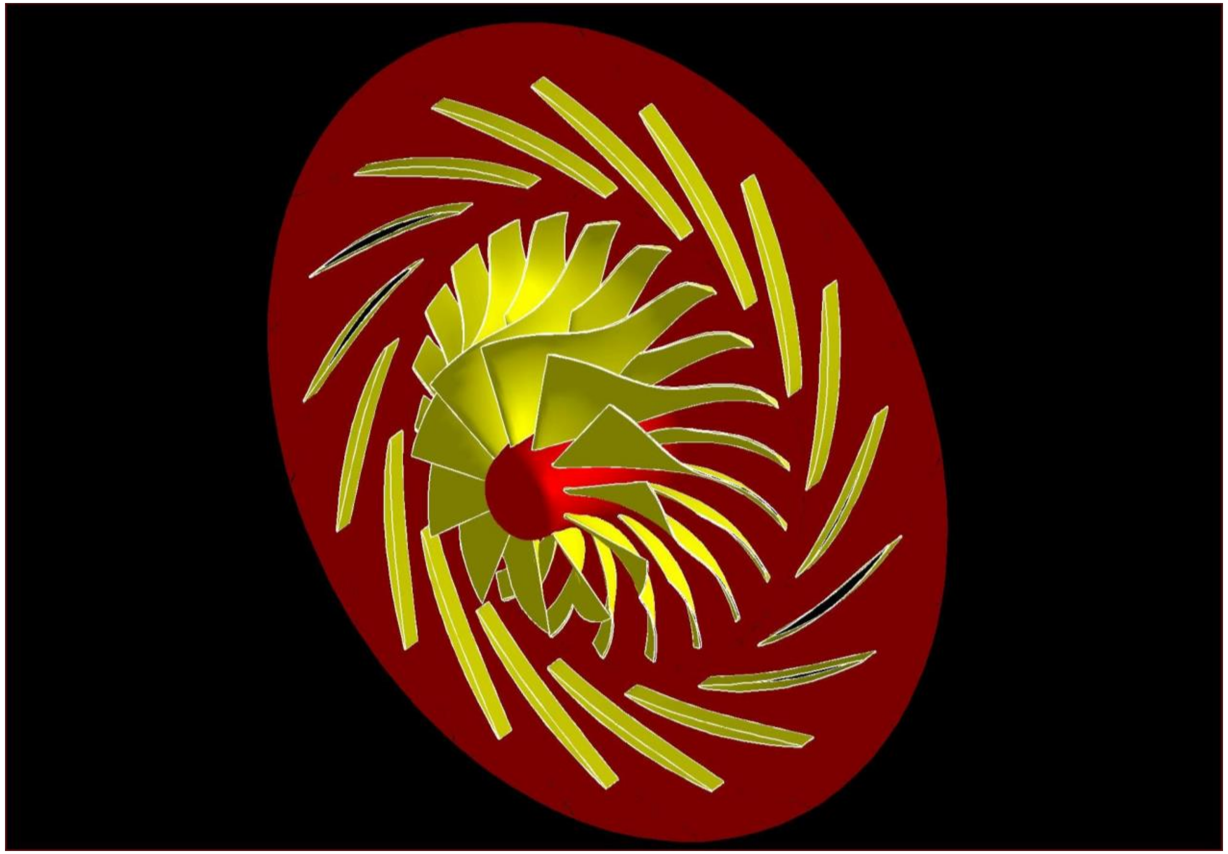
液滴蒸发气相混合反应流动

9.2 旋转机械流动问题

9.2.1 发动机中的旋转机械

- 动量定理解决流体与物体作用力的问题
- **动量矩定理**比较适合于分析**叶轮机械**中的情况。





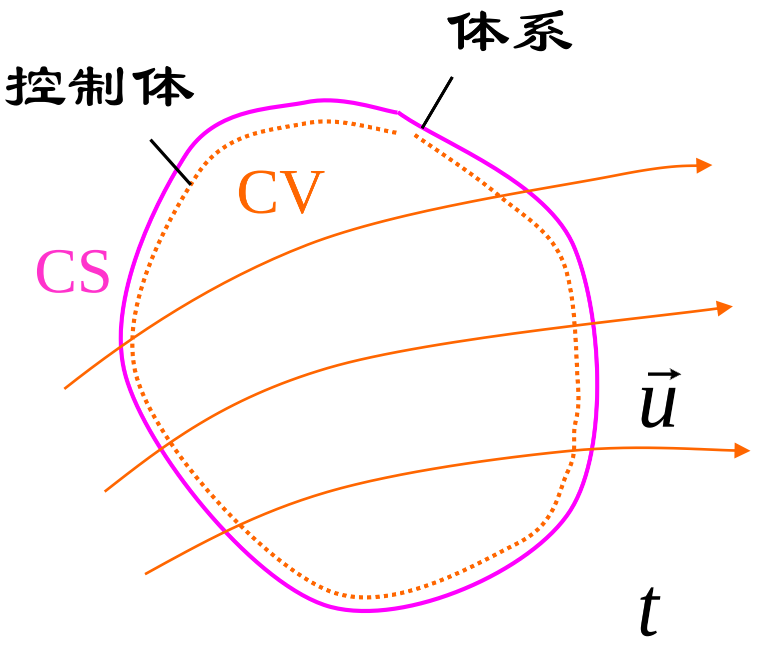
9.2.2 动量矩方程

动量矩定理叙述为:

对于某瞬间占据空间体积τ的流体所构成的**体系**，体系对某轴的**动量矩的时间变化率**，等于作用在该体系上**所有外力对于同一轴的力矩的总和**

$$\sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{D}{Dt}\int_{\tau} \rho(\vec{V} \times \vec{r})d\tau$$

$\vec{r}$ 为**任一力矩中心**发出的矢径。



流体体系和控制体

取上述**体系**在给定瞬间所占体积为**控制体**，用**雷诺输运定理**展开上述方程。

9.2 旋转机械流动问题

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.2.2 动量矩方程

体系的随流物理量，可以代表质量m，动量$\vec{m}$和能量E等.

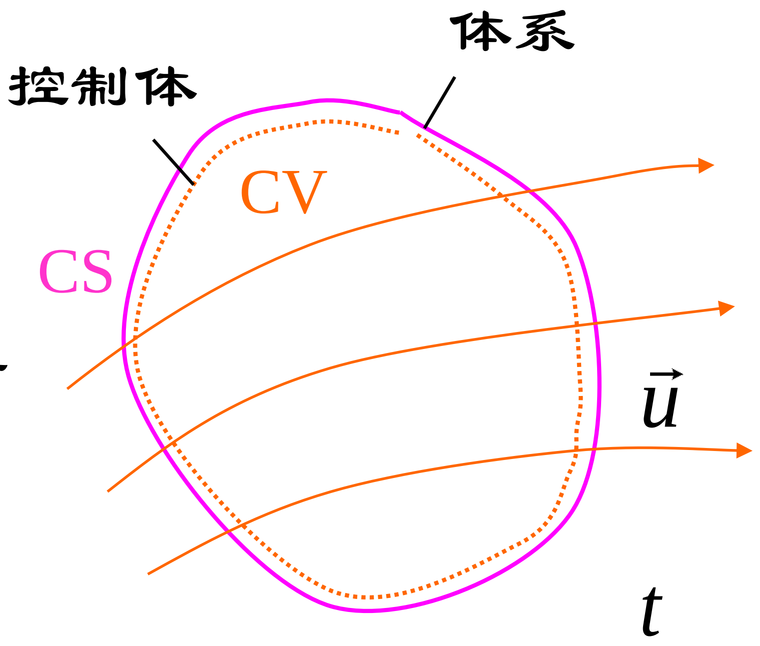
$$\boxed{\frac{DN_s}{Dt} = \iiint_{CV} \frac{\partial}{\partial t}(\sigma\rho)d\tau + \oiint_{CS} \sigma\rho\vec{V}\cdot d\vec{S}}$$

$$\sigma = \frac{dN}{dm}$$ 单位流体质量所具有的N值

$$N = m\vec{V}\times\vec{r},\sigma = \vec{V}\times\vec{r};$$

将上式代入，即可得动量矩定理方程

$$\sum \vec{F}\times\vec{r} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV} \rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau + \oiint_{CS} \rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$



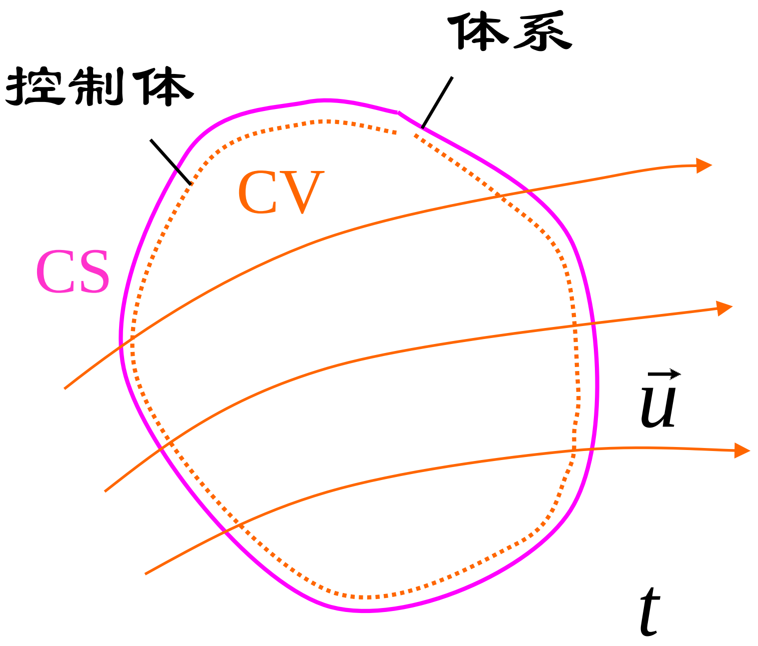
流体体系和控制体

$$\sum \vec{F}\times\vec{r} = \frac{D}{Dt}\int_{\tau} \rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau$$

9.2.2 动量矩方程

动量矩定理:

$$\sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{CV} \rho(\vec{V} \times \vec{r}) d\tau + \oiint_{CS} \rho(\vec{V} \times \vec{r})(\vec{V} \cdot d\vec{S})$$



流体体系和控制体

这说明:

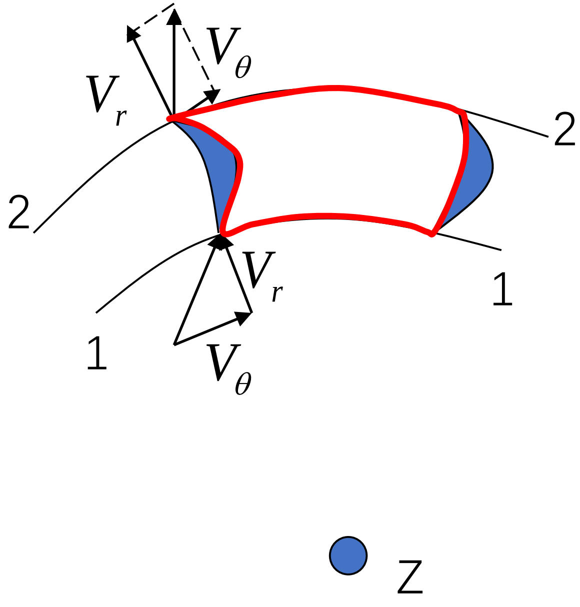
作用于控制体内流体上的**所有外力矩之和**等于控制体内流体所具有的**动量矩随时间变化率**（体积分部分）加上**流出**控制面的**动量矩的通量**（面积分部分）.

$$\sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{D}{Dt} \int_{\tau} \rho(\vec{V} \times \vec{r}) d\tau$$

9.2.2 动量矩方程

动量矩定理:

$$\sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV} \rho(\vec{V} \times \vec{r})d\tau + \oiint_{CS} \rho(\vec{V} \times \vec{r})(\vec{V} \cdot d\vec{S})$$



柱坐标系下的动量矩方程

在分析叶轮机中的流动中,通常流动是以**Z轴为旋转轴**的,在圆柱坐标系中动量矩方程的Z轴分量为:

$$M_Z = \sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV} \rho V_\theta r d\tau + \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

Z轴为转轴的动量矩方程

M_Z: 外力对z轴的合力矩;

V_θ: 周向分速度;

V_r: 径向分速度.

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.2.2 动量矩方程——特殊情形简化

动量矩定理: $\sum \vec{F}\times\vec{r} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau + \oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$

1. 在定常流条件下:

控制体内流体动量矩的变化率等于零:

$$\sum \vec{F}\times\vec{r} = \oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$

2. 对于理想流体

表面力只有正压力的作用，方程变为:

$$\iiint_{CV}\rho(\vec{R}\times\vec{r})d\tau + \iint_{CS}(-pd\vec{S}\times\vec{r}) = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau + \oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.2.2 动量矩方程——特殊情形简化

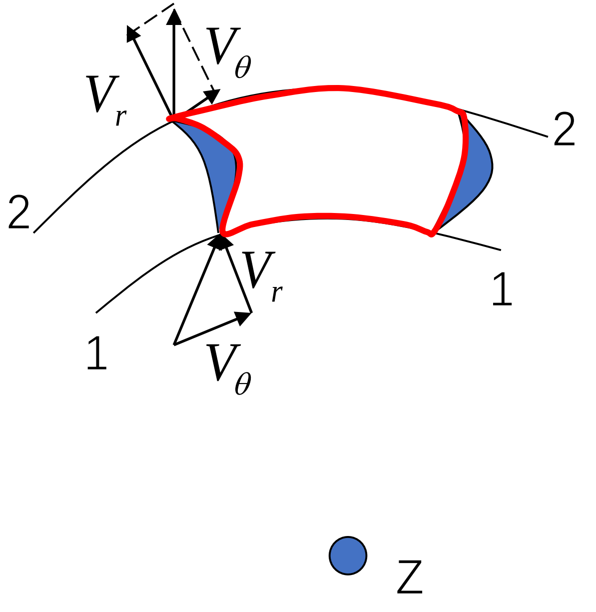
$$M_Z=\sum\vec{F}\times\vec{r}=\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho V_\theta r d\tau+\oiint_{CS}\rho V_\theta r V_r ds$$

3.叶轮机械中—泵扬程的概念

考虑额定工况下的情况，属于**定常**运动.

$$M_z=\oiint_{CS}\rho V_\theta r V_r ds$$

M_z: 泵对工质的提供的有效力矩.



Z轴为转轴的动量矩方程

设进口面为A_1，出口面为A_2,则:

$$M_z=\oiint_{CS}\rho V_\theta r V_r ds$$

$$=\int_{A2}\rho V_{\theta 2} r_2 V_{r2} ds-\int_{A1}\rho V_{\theta 1} r_1 V_{r1} ds$$

$$=\dot{m}(V_{\theta 2} r_2-V_{\theta 1} r_1)$$

9.2.2 动量矩方程——特殊情形简化

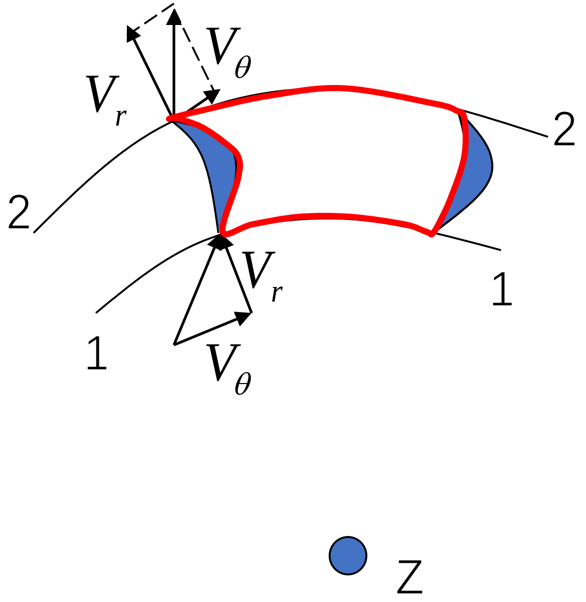
$$M_Z = \sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{\partial}{\partial t} \iiint_{CV} \rho V_\theta r d\tau + \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

3.叶轮机械中—泵扬程的概念

考虑额定工况下的情况，属于**定常**运动.

$$M_z = \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

M_z: 泵对工质的提供的有效力矩.



Z轴为转轴的动量矩方程

设进口面为A_1，出口面为A_2, 则:

$$M_z = \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

$$= \int_{A2} \rho V_{\theta 2} r_2 V_{r2} ds - \int_{A1} \rho V_{\theta 1} r_1 V_{r1} ds$$

$$= \dot{m}(V_{\theta 2} r_2 - V_{\theta 1} r_1)$$

9.2.2 动量矩方程——特殊情形简化

$$M_Z = \sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV} \rho V_\theta r d\tau + \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

3.叶轮机械中—泵扬程的概念

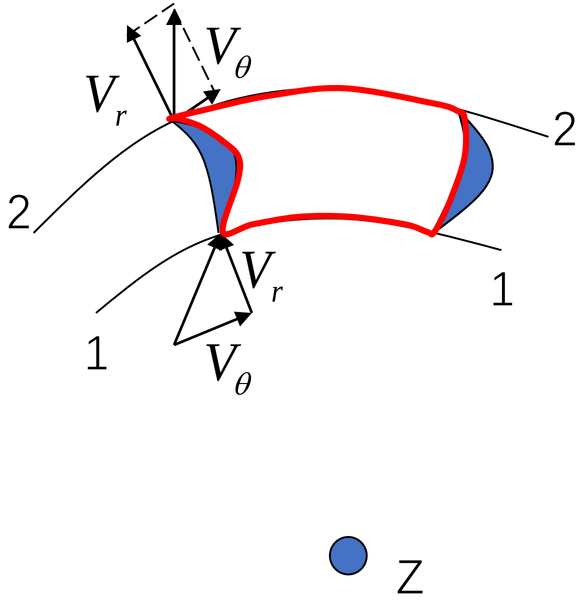
$$M_z = \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds = \dot{m}(V_{\theta 2} r_2 - V_{\theta 1} r_1)$$

机械的有效功率为

$$M_z \omega = \dot{m}\omega(V_{\theta 2} r_2 - V_{\theta 1} r_1)$$

$$= \dot{m}(V_{\theta 2} u_2 - V_{\theta 1} u_1)$$

u_1,u_2 在进出口位置叶轮本身的**圆周速度**



Z轴为转轴的动量矩方程

定义泵的扬程

有效功率与重量流量($\dot{m}g$)之比.

$$H = \frac{M_z \omega}{\dot{m}g} = \frac{V_{\theta 2} u_2 - V_{\theta 1} u_1}{g}$$

H表示泵对单位重量液体所做的功，相当于把液体提高H的高度.

9.2.2 动量矩方程——特殊情形简化

4.叶轮机械中—面积定律

考虑额定工况下的情况，属于定常运动.

$$M_z = \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

M_z: 泵对工质的提供的有效力矩.

设进口面为A_1，出口面为A_2,则:

$$M_z = \oiint_{CS} \rho V_\theta r V_r ds$$

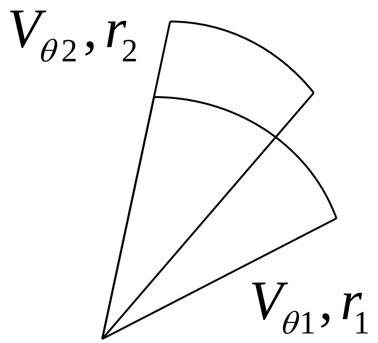
$$= \int_{A2} \rho V_{\theta 2} r_2 V_{r2} ds - \int_{A1} \rho V_{\theta 1} r_1 V_{r1} ds$$

$$= \dot{m}(V_{\theta 2} r_2 - V_{\theta 1} r_1)$$

若外力矩为零，则

$$V_{\theta 2} r_2 - V_{\theta 1} r_1 = 0$$

如：离心压气机扩压器、离心喷嘴



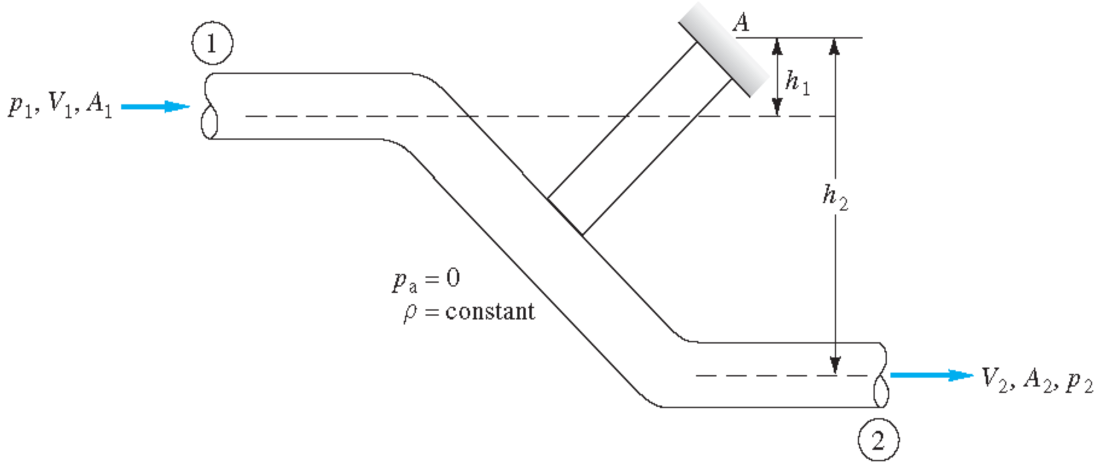
面积定律

9.2 旋转机械流动问题

9.2.3 两个例子

$$\sum \vec{F}\times\vec{r}=\cancel{\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau}+\oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$

【例题1】 如图，进出口平行的弯管通过支架固定于A点。不可压流体从1截面流入，2截面流出。已知环境压强p_a=0。试求：支撑A点所承受的扭矩T（表述成1、2截面参数及距离h_1和h_2的表达式）。



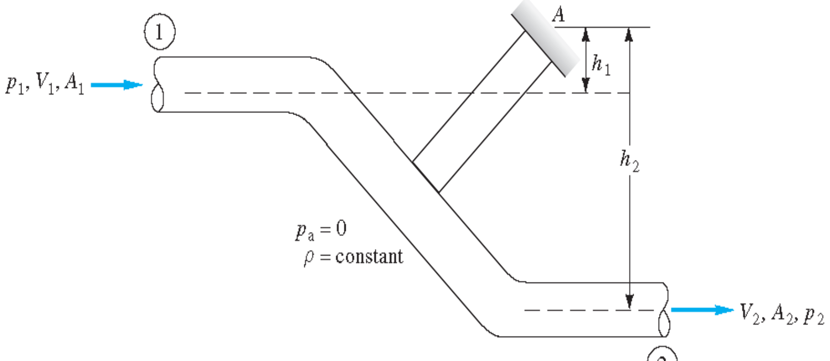
例题1 弯管扭矩计算

分析：

- 采用动量矩定理求解
- 由于流动为定常的，故**体积分**部分为0
- 划分控制体后，只需要计算**各部分力矩**，及控制面的**动量矩通量**。
- 注意：各量的方向！

9.2.3 两个例子

【例题1】 如图，进出口平行的弯管通过支架固定于A点。不可压流体从1截面流入，2截面流出。已知环境压强p_a=0。试求：支撑A点所承受的扭矩T（表述成1、2截面参数及距离h_1和h_2的表达式）。



E3.17*a*

解：

1. 流动为**定常**的，**忽略流体体积力**，可取如图控制体，将固体部件包于控制体内，管壁表面力对流体的力矩的和等效处理为T_A

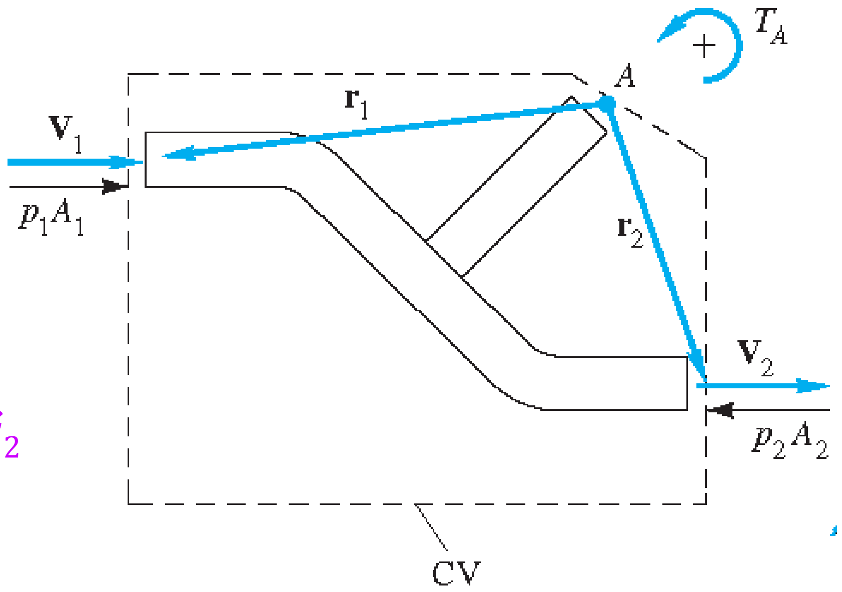
2、定义坐标系：取**逆时针方向为力矩正方向**；

3、由动量矩方程：

$$\vec{T}_A + (-p_1A_1\vec{n}_1)\times\vec{r}_1 + (-p_2A_2\vec{n}_2)\times\vec{r}_2 = (\rho_1A_1V_{n1})\vec{V}_1\times\vec{r}_1 + (\rho_2A_2V_{n2})\vec{V}_2\times\vec{r}_2$$

$$\Downarrow$$

$$\vec{T}_A - (p_1A_1)\vec{n}_1\times\vec{r}_1 - (p_2A_2)\vec{n}_2\times\vec{r}_2 = (-\dot{m})\vec{V}_1\times\vec{r}_1 + (\dot{m})\vec{V}_2\times\vec{r}_2$$

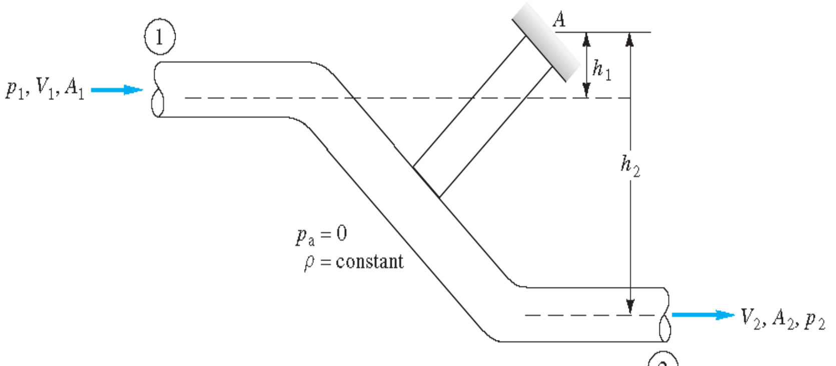


例题1 弯管扭矩计算

$$\sum\vec{F}\times\vec{r} = \cancel{\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau} + \oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$

9.2.3 两个例子

【例题1】 如图，进出口平行的弯管通过支架固定于A点。不可压流体从1截面流入，2截面流出。已知环境压强p_a=0。试求：支撑A点所承受的扭矩T（表述成1、2截面参数及距离h_1和h_2的表达式）。



E3.17a

解： 3、由动量矩方程：

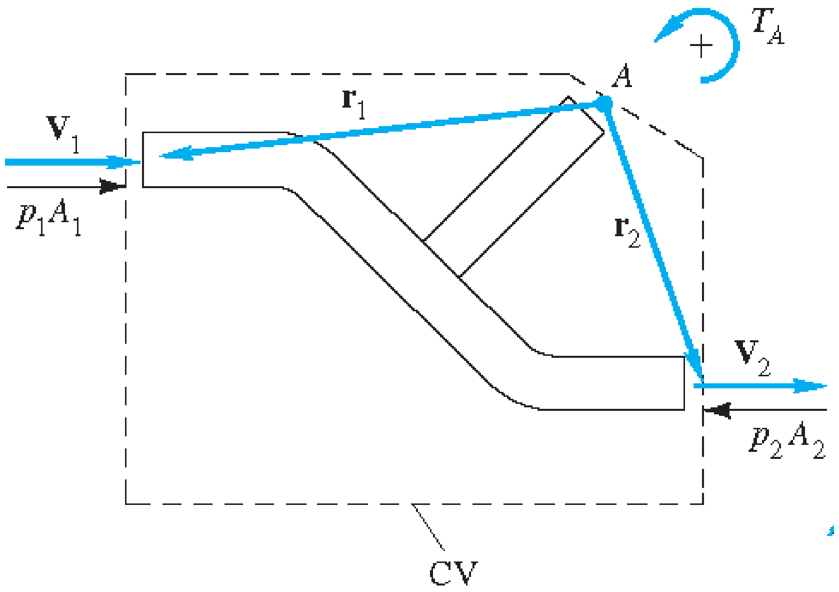
$$\vec{T}_A - (p_1A_1)\vec{n}_1 \times \vec{r}_1 - (p_2A_2)\vec{n}_2 \times \vec{r}_2 = (-\dot{m})\vec{V}_1 \times \vec{r}_1 + (\dot{m})\vec{V}_2 \times \vec{r}_2$$

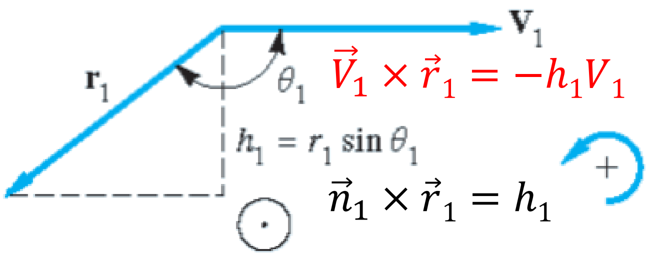
$$\Downarrow$$

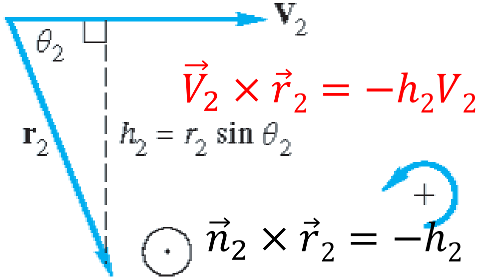
$$-T_A - (p_1A_1)h_1 + (p_2A_2)h_2 = \dot{m}h_1V_1 - \dot{m}h_2V_2$$

$$\Downarrow$$

$$T_A = (p_2A_2 + \dot{m}V_2)h_2 - (\dot{m}h_1V_1 + p_1A_1)h_1$$







例题1 弯管扭矩计算

$$\sum \vec{F} \times \vec{r} = \frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV} \rho(\vec{V} \times \vec{r})d\tau + \oiint_{CS} \rho(\vec{V} \times \vec{r})(\vec{V} \cdot d\vec{S})$$

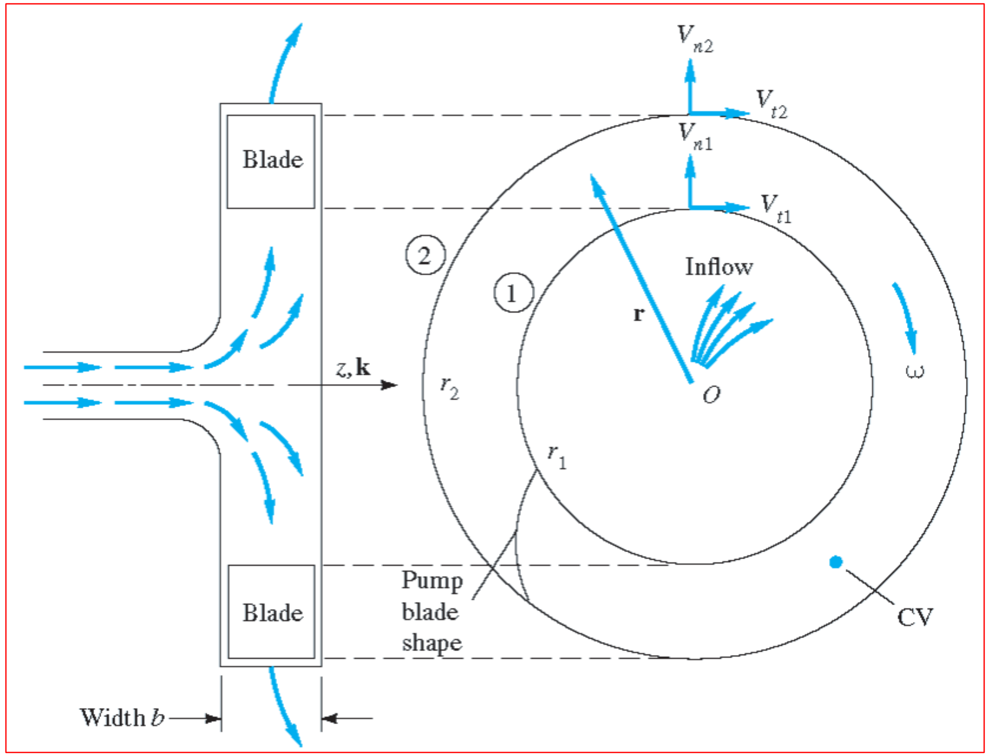
9.2.3 两个例子

$$\sum \vec{F}\times\vec{r}=\cancel{\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau}+\oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$

【例题2】 如图所示离心泵，不可压流体沿轴向流入，经过泵叶片流出，涡轮旋转角速度为ω。进口速度为V_1、压力为p_1，出口速度为V_2、压力为p_2。试求：

1）涡轮的扭矩T_o；

2）涡轮输入功率。



例题2 离心泵流动

分析：

- 采用动量矩定理求解
- 由于流动为定常的，故**体积分**部分为0
- 划分控制体后，只需要计算**各部分力矩**，及表面的**动量矩通量**。

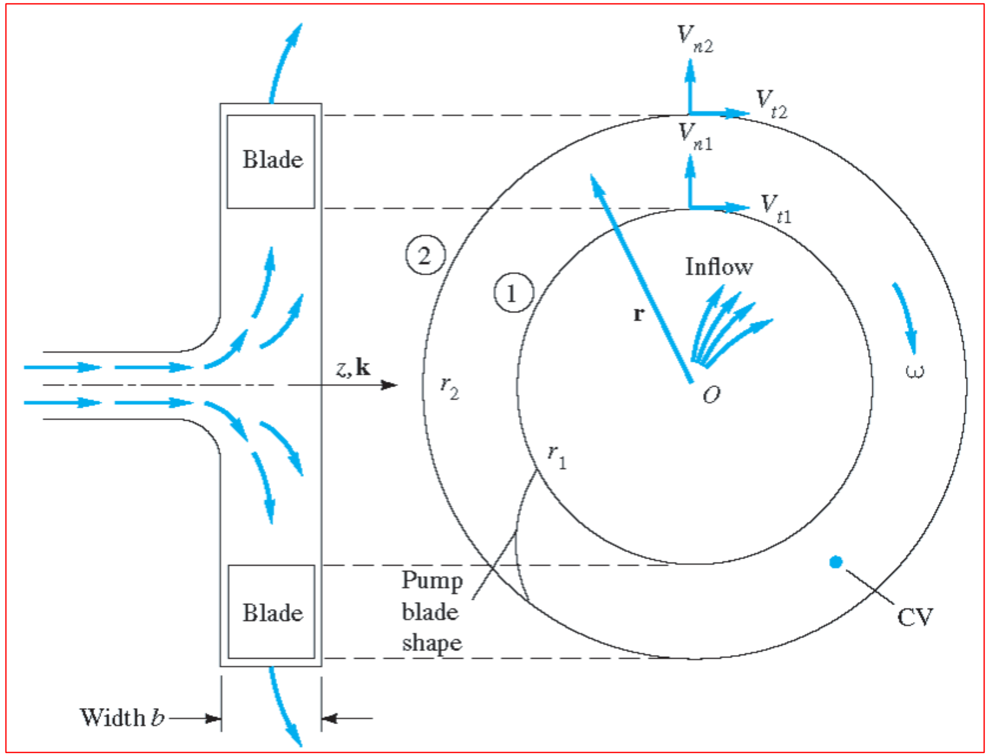
9.2.3 两个例子

$$\sum \vec{F}\times\vec{r}=\cancel{\frac{\partial}{\partial t}\iiint_{CV}\rho(\vec{V}\times\vec{r})d\tau}+\oiint_{CS}\rho(\vec{V}\times\vec{r})(\vec{V}\cdot d\vec{S})$$

【例题2】 如图所示**离心泵**，不可压流体沿轴向流入，经过泵叶片流出，涡轮旋转角速度为ω。进口速度为V_1、压力为p_1，出口速度为V_2、压力为p_2。试求：

1）涡轮的扭矩T_o；

2）涡轮输入功率。



例题2 离心泵流动

解：

1. 流动为定常的，忽略流体体积力。可取面1和面2所示的**环形区域控制体**

2、定义坐标系：取z坐标如图，z向力矩为正；

3、由动量矩方程：

很显然，在1和2表面上，压力作用线均过圆心O，其对O点的力矩为0，只需考虑动量矩通量部分

$$\vec{T}_O=(\dot{m}_2)\vec{V}_2\times\vec{r}_2+(-\dot{m}_1)\vec{V}_1\times\vec{r}_1$$

$$\Downarrow$$

$$T_O=(\rho_2V_{2n}2\pi r_2 b)V_{t2}r_2-(\rho_2V_{2n}2\pi r_2 b)V_{t1}r_1$$

$$=(\rho Q)V_{t2}r_2-(\rho Q)V_{t1}r_1=(\rho Q\omega)(r_2^2-r_1^2)$$

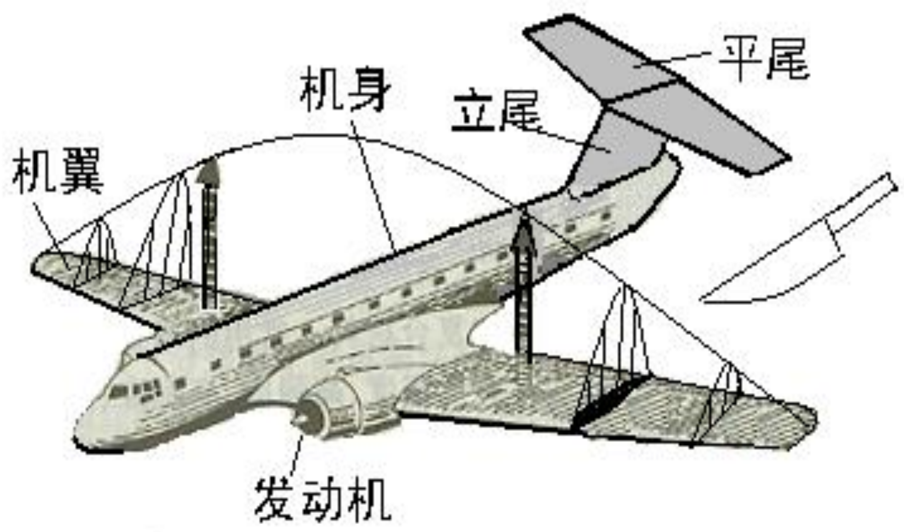
$$P=\omega T_O=(\rho Q\omega^2)(r_2^2-r_1^2)$$

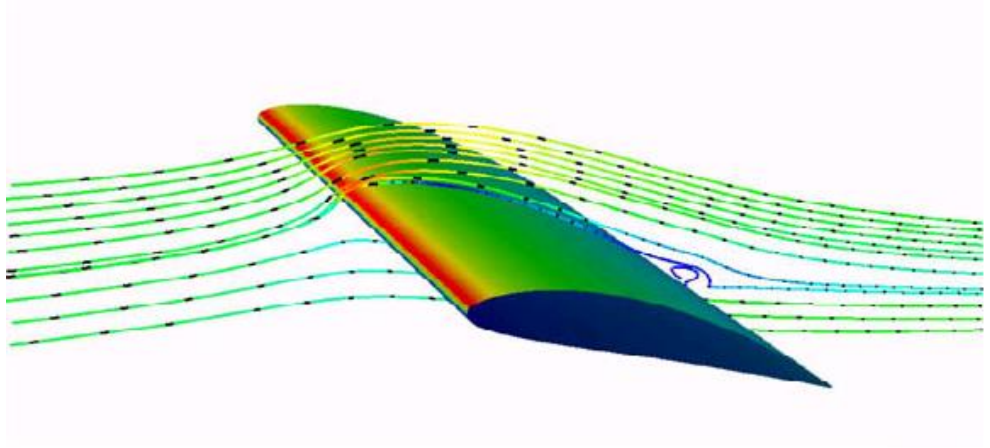
9.3 机翼空气动力学特性简介

- 机翼几何参数
- 机翼空气动力学特性

9.3.1 机翼几何参数

□ 机翼及翼型





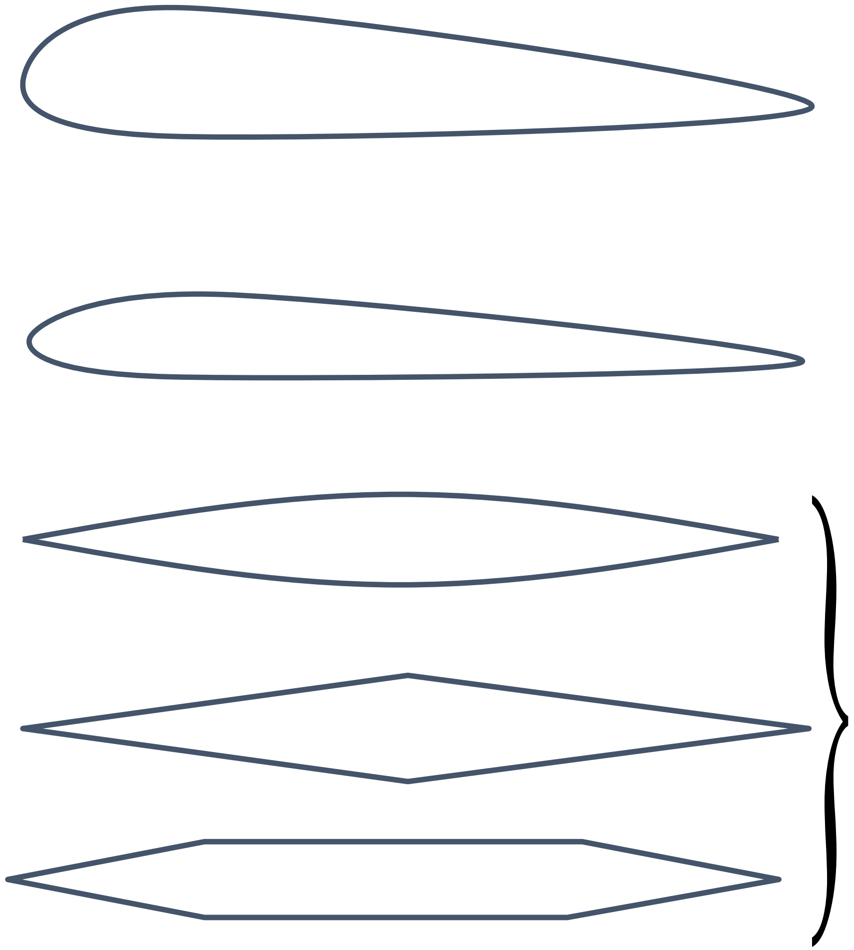
- □ 机翼是飞机承受升力的主要部件

- □ 平行于飞机对称面、在机翼展向任意位置切一刀，得到机翼剖面称作为**翼剖面**或**翼型**

9.3 机翼空气动力学特性简介

9.3.1 机翼几何参数

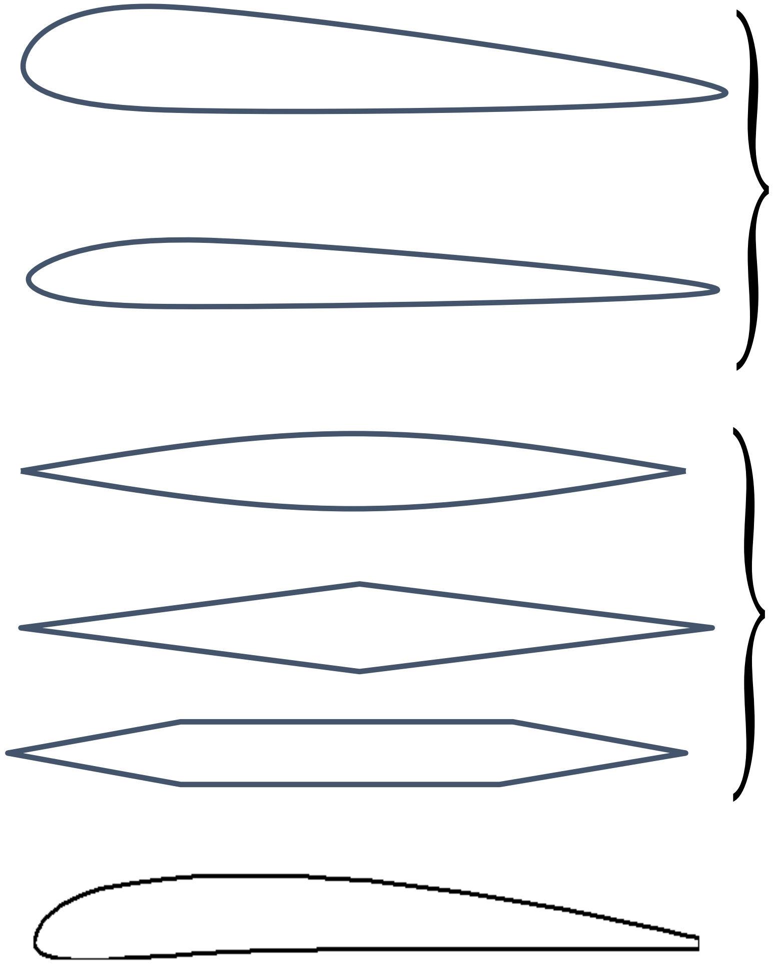
- **翼型分类**



低速翼型

亚声速翼型

超声速翼型



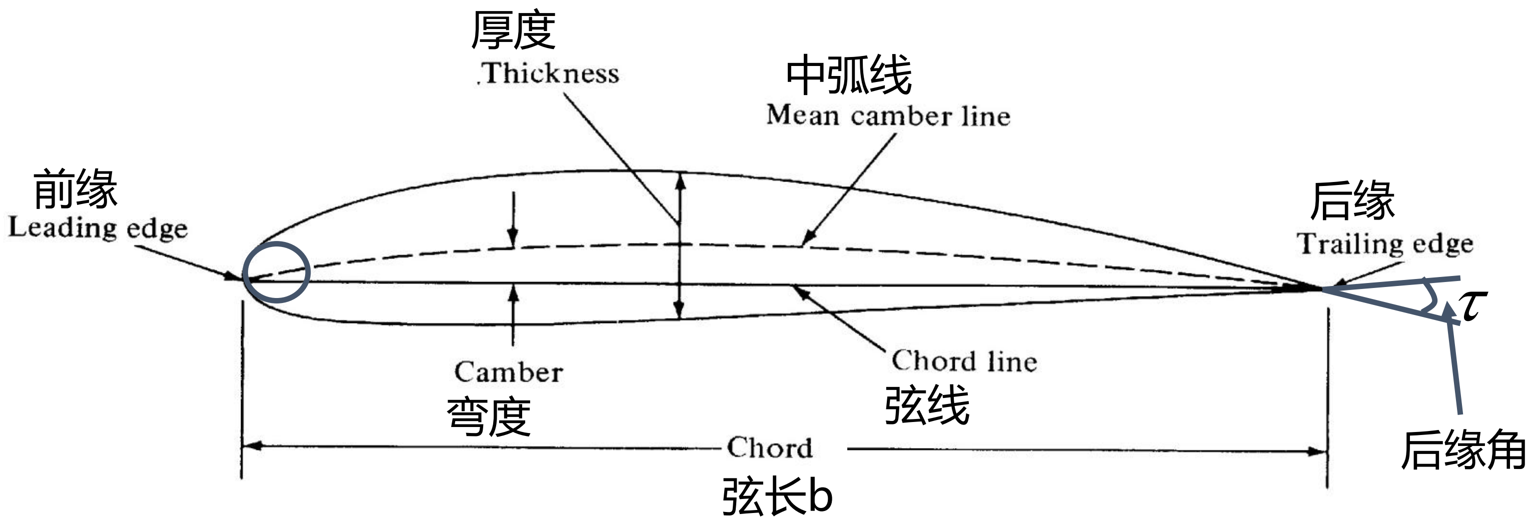
圆头尖尾形

尖头尖尾形

圆头钝尾形

9.3.1 机翼几何参数

◻ 翼型主要几何参数



- ◻ 弦线与弦长
- ◻ 中弧线
- ◻ 弯度
- ◻ 厚度
- ◻ 前缘半径
- ◻ 后缘角

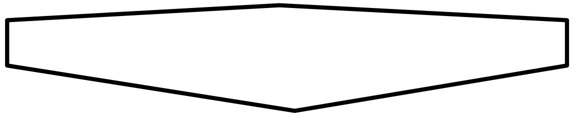
NACA 4415

NACA翼型族

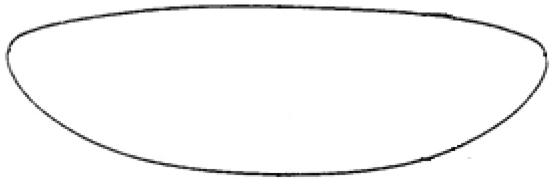
9.3.1 机翼几何参数

▫ **机翼的平面形状**

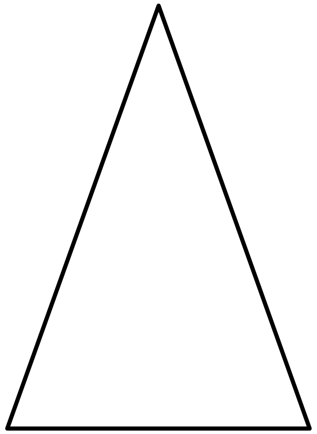
矩形翼



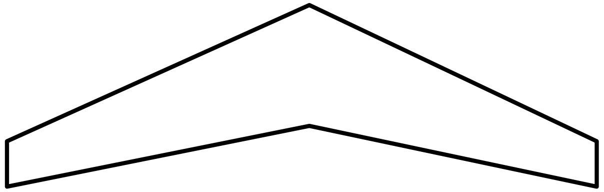
梯形翼



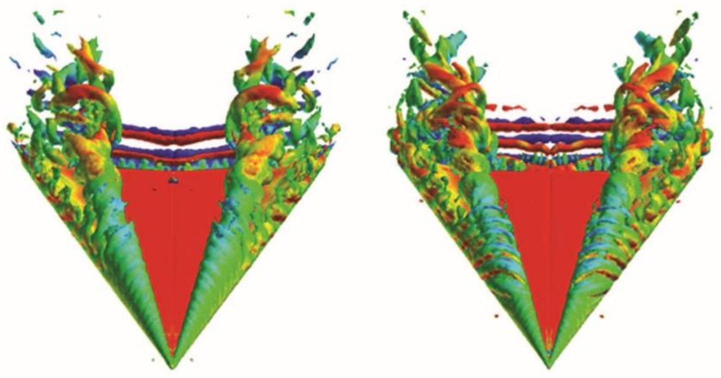
椭圆翼



三角翼



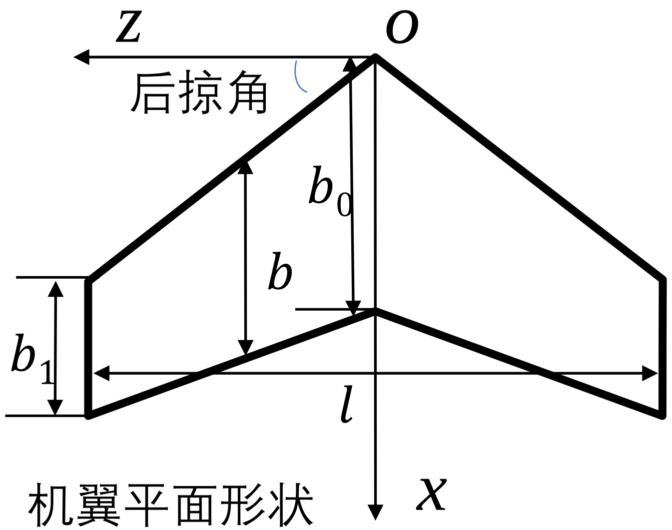
后掠翼



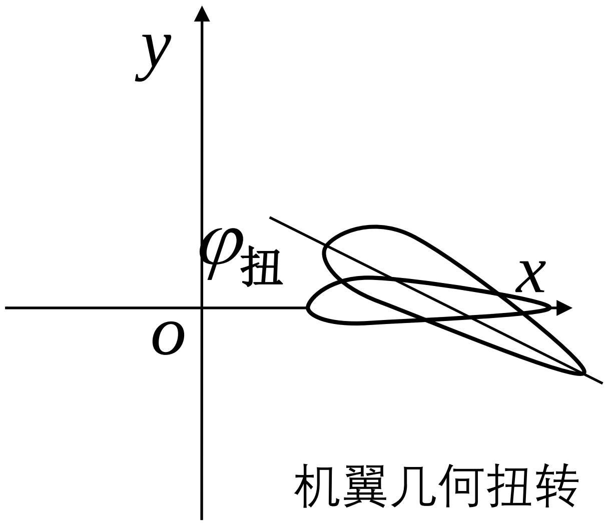
北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.3.1 机翼几何参数

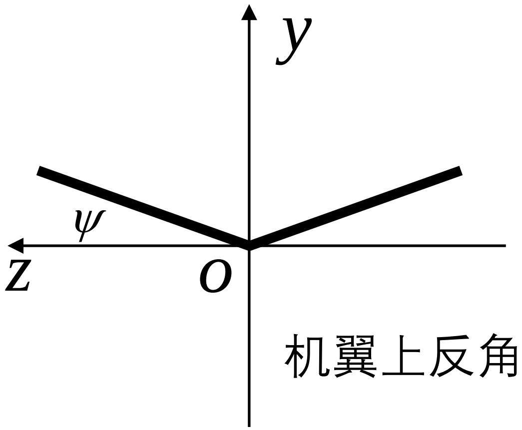
▫ **机翼坐标系——体轴系**



机翼平面形状



机翼几何扭转



机翼上反角

三个角

后掠角

上反角与下反角

几何扭转

- 翼展：翼展是指机翼左右翼尖之间的长度，一般用l表示。
- 机翼面积：是指机翼在oxz平面上的投影面积，一般用S表示。
- 翼弦：翼弦是指机翼沿机身方向的弦长。一般用b表示

几何平均弦长b_{pj}定义为 $b_{pj}=\dfrac{S}{l}$

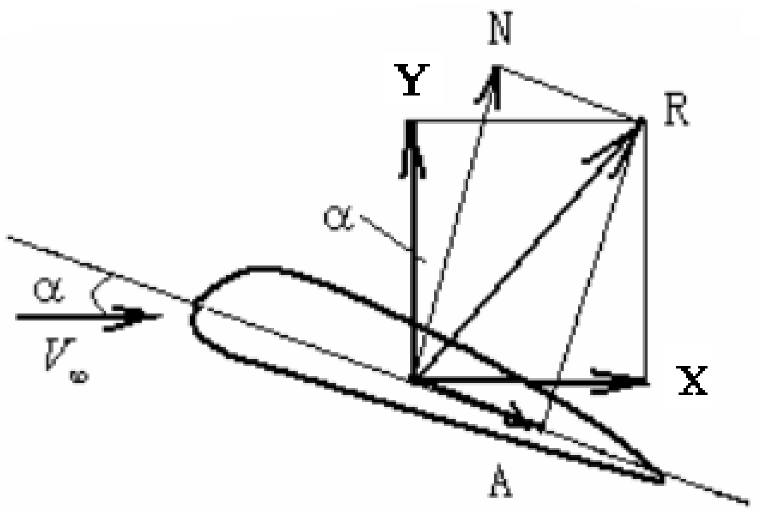
展弦比： $\lambda=\dfrac{l}{b_{pj}}=\dfrac{l^2}{S}$

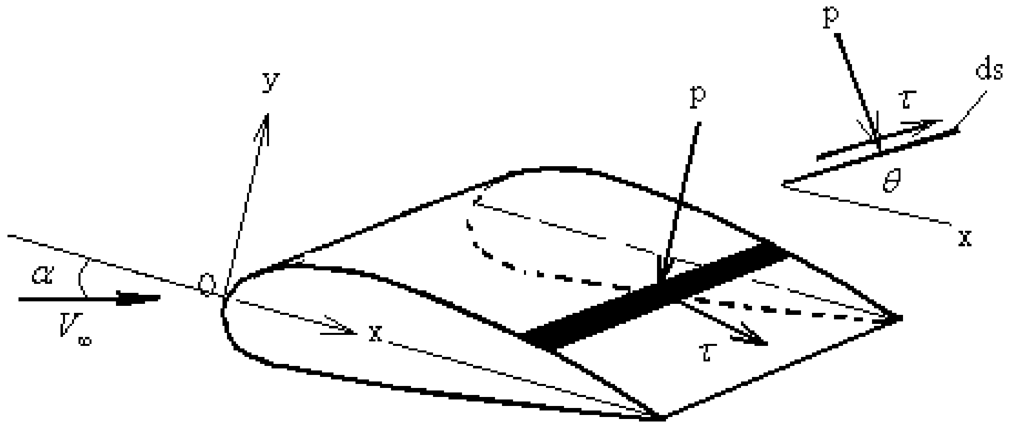
根梢比定义为 $\eta=\dfrac{b_0}{b_1}$

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.3.2 机翼空气动力学特性

机翼的空气动力系数——风轴系坐标Oxyz





- V_∞ 与对称平面处翼剖面(翼根剖面)弦线间的夹角定义为机翼的迎角α。

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

9.3.2 机翼空气动力学特性

机翼的空气动力系数

- 纵向绕流时作用在机翼上的空气动力仍是升力Y(垂直V_∞方向)，阻力X(平行V_∞ 方向)，纵向力矩Mz (绕过某参考点z轴的力矩)。定义机翼纵向绕流的无量纲气动系数为

阻力系数

$$C_x = \frac{X}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S}$$

升力系数

$$C_y = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S}$$

纵向力矩力（俯仰）系数

$$m_z = \frac{M_z}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 S b_A}$$

课后作业

1. **超声速进气道的压缩形式有哪些?**
2. **文献调研题（选做题，Word或者ppt文档）：**
   1）简述液体火箭发动机涡轮泵的工作原理；2）简述螺旋桨的工作原理。

7.15 内压式超声速进气道的进口面积为 A_i，设计马赫数$Ma_d=1.6$，喉道面积按在设计飞行状态下喉道为声速流动确定。为了使进气道起动，采用飞行加速法。若在起动过程中，除激波有总压损失外的流动是等熵的，问飞行马赫数至少加速到多大，激波才被吞入?

7.16 内压式超声速进气道的设计马赫数 $Ma_d=2.31$，飞行高度 $H=18\ 000$ m，已知进气道的面积比 $A_t/A_i=q(\lambda_d)$，且 $A_i=0.15$ m^2。问：

(1)在该高度以 $Ma_d=1.95$ 飞行时，进气道进口前的流动图形如何? 若飞行马赫数加大到 $Ma_d=2.31$，流动图形有无变化?

(2)为了使进气道起动，喉道面积应放大到多大?

(3)计算喉道面积放大后的喉道马赫数及通过进气道的流量。

北京航空航天大學
BEIHANG UNIVERSITY

THE END.