



流体力学

主讲教师：付雷
东三楼乙309
leifu@mail.xjtu.edu.cn

什么是流体力学

力学 \rightarrow 流体力学 *fluid mechanics*

流体的宏观平衡

\downarrow

流体静力学
fluid statics

流体的运动规律

\downarrow

流体动力学
fluid dynamics

📌 基础知识

\rightarrow 高等数学，大学物理，理论力学，工程热力学，材料力学

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 2

本书结构—流体宏观平衡及运动基础篇

流体及其物理性质 $\xrightarrow{\text{章1}}$ 流体力学的基本概念

流体静力学 $\xrightarrow{\text{章2}}$ 流体的宏观平衡，包括绝对静止、相对静止

流体运动学基础

流体动力学基础

}

$\xrightarrow{\text{章3-6}}$

流体运动的基本概念及控制方程组，研究流体运动的基础

量纲分析与相似原理 $\xrightarrow{\text{章7}}$ 实验流体力学的基本分析手段

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 3

本书结构—动力学应用篇

不可压缩流体平面势流 $\xrightarrow{\text{章8}}$ 理想不可压缩流体的应用 平面无旋

管道内的粘性流动 $\xrightarrow{\text{章9}}$ 粘性不可压缩流体的应用 管道内流

绕物体的粘性不可压缩流动 $\xrightarrow{\text{章10}}$ 粘性不可压缩流体的应用 外流，边界层

可压缩流动基础 $\xrightarrow{\text{章11}}$ 理想可压缩流体的应用 喷管一维等熵流动

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 4

流体力学的任务

- ④ 研究流体处于平衡和运动的规律
- ④ 流体之间和流体和固体之间的相互作用
- ④ 流体运动过程中动量、能量和质量的传输规律
- ④ 解决工程实际（生成，科研和生活）中与流动有关的问题

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 5

流体力学的特点

- ④ 内容抽象
- ④ 数学推导多，公式多
- ④ 半经验公式多

学习时注意问题

- ④ 课前预习、课后及时复习
- ④ 注重基本概念、基本理论，基本解题方法掌握
- ④ 注意观察身边的流动现象观察、思考

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 6

流体力学的分支1

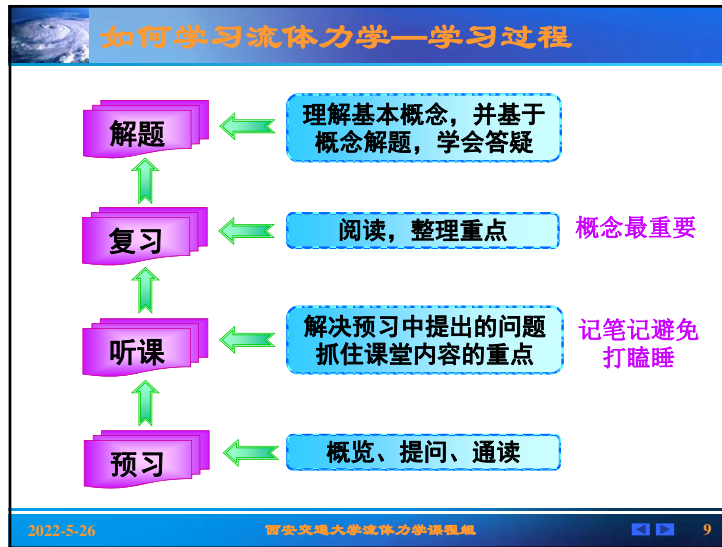
- ④ 环境流体力学：大气运动、海水运动(包括波浪、潮汐、中尺度涡旋、环流等)，建筑空气动力学
- ④ 微纳尺度流动：MEMS（微机电系统、微流体生物芯片、微射流等）
- ④ 航空航天：空气动力学，稀薄气体动力学
- ④ 渗流力学：流体在多孔或缝隙介质中的运动（石油、天然气开采，地下水开发、土壤盐碱化的防治，化工中的浓缩、分离和多孔过滤等）

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 7

流体力学的分支2

- ④ 化学流体力学：燃烧、爆炸（爆炸力学）
- ④ 多相流动：沙漠迁移、河流泥沙运动、管道中煤粉输送、化工中气体催化剂的运动等
- ④ 电磁流体力学：等离子体在磁场作用下运动规律。它们在受控热核反应、磁流体发电、宇宙气体运动等方面有广泛的应用
- ④ 生物流体力学：血液在血管中的流动，植物营养液的输送

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 8



流体力学的研究方法2

粘性流体运动方程 — N-S方程

Navier-Stokes equations

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right]$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \left(\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right) \right]$$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 12

流体力学的研究方法3

实验方法

```

    graph LR
      A[相似理论] --> B[模型试验]
      B --> C[测量]
      C --> D[数据分析]
      D --> A
  
```

④ 反映实际流动规律，发现新现象，检验理论结果等
但结果的普适性较差

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 13

流体力学的研究方法4

雷诺实验 平板边界层实验 管路沿程阻力实验

风洞实验 PIV(Particle Image Velocimetry) LDV (Laser Doppler Velocimetry)

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 14

流体力学的研究方法5

数值模拟方法

CFD
computational fluid dynamics

```

    graph LR
      A[数学模型] --> B[离散化]
      B --> C[编程计算]
      C --> D[检验结果]
      D --> A
  
```

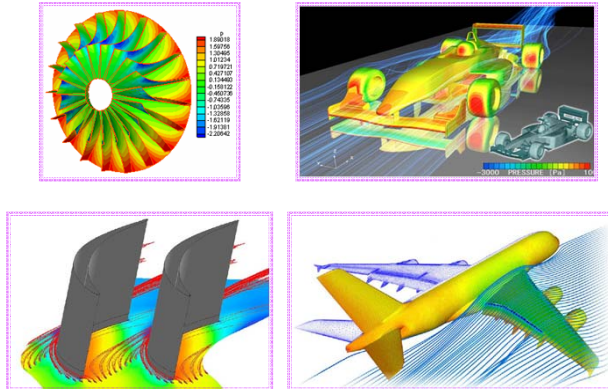
④ 能计算理论分析方法无法求解的数学方程，适用范围受数学模型的正确性和计算机的性能所限制

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 15

流体力学的研究方法6——网格生成

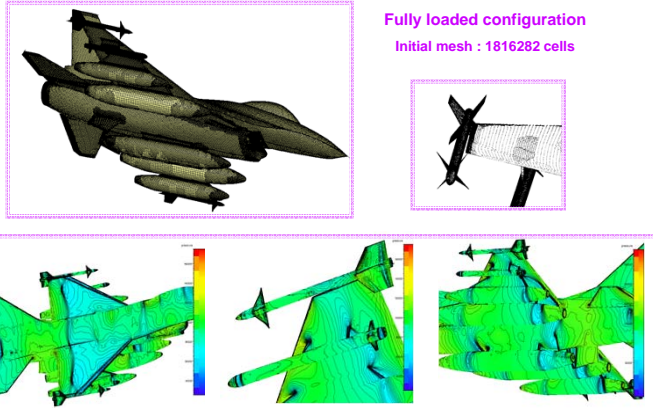
2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 16

流体力学的研究方法7——CFD分析



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 17

流体力学的研究方法8——CFD分析



Fully loaded configuration
Initial mesh : 1816282 cells


2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 18

流体力学参考书

Frank M. White: 《流体力学》，清华大学出版社

M. C. Potter: 《流体力学》，机械工业出版社

吴望一编著: 《流体力学》，北京大学出版社



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 19


第一章 流体及其物理性质

一、流体的定义及连续介质模型

二、流体的主要性质

密度
粘性

三、作用在流体上的力



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 20

1.2 流体与连续介质模型

流体的定义 *fluid*

	形状	体积	压力	拉力	剪切力
固体	✓	✓	✓	✓	✓
液体	×	✓	✓	—	×
气体	×	×	✓	×	×

任意微小剪切力持续作用下发生连续变形的物质称为流体

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 21

连续介质模型1

$\delta\tau'$ → 特征体积

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 22

连续介质模型2

特征体积

- 宏观上充分小 → 特征体尺度 \ll 流动问题特征长度
 - 在数学上可近似地看成一个几何上没有维度的点
- 微观上充分大 → 分子平均自由程 \ll 特征体尺度
 - 包含大量的分子，对分子团进行统计平均后可以得到稳定数值，少数分子的进出不影响稳定的平均值

mean free path

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 23

连续介质模型3

流体质点 *fluid particle*

微小特征体，包含大量分子，具有确定的宏观统计特性

- 分子平均自由程 \ll 流体质点尺度 \ll 流动问题的特征长度
- 微观性质统计平均后可得到稳定值的时间 $<$ 统计平均时间 \ll 流动问题的特征时间

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 24

连续介质模型4

连续介质模型 *continuum hypothesis*

- 组成流体的最小物质实体是流体质点
- 流体由无限多的流体质点连绵不断地组成，质点之间无间隙

适用条件

分子平均自由程 \ll 流动问题特征尺寸

不适用 稀薄气体，激波层内等

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 25

1.3 密度 density

问题

- 密度的定义
- 体积弹性模量
- 不可压缩流体
- 液体和气体的可压缩性

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 26

流体的密度

密度 $\rho = \lim_{\delta\tau \rightarrow 0} \frac{\delta m}{\delta\tau} = \frac{dm}{d\tau}$ kg/m^3
density $\delta\tau \rightarrow \delta\tau'$

任意时刻流体质量在空间的分布状态

比容 $v = \frac{1}{\rho}$ m^3/kg 热力学常用
specific volume

重度 $\gamma = \rho g$ N/m^3 水力学常用
specific weight

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 27

体积弹性模量1

体积弹性模量 *bulk modulus of elasticity*

$E_v = -\frac{dp}{dV/V}$ Pa $\frac{dV}{V} = \frac{dV/m}{V/m} = \frac{dv}{v}$

① 体积弹性模量的另一种表达形式

$v = \frac{1}{\rho}$ $dv = -\frac{d\rho}{\rho^2} = -v \frac{d\rho}{\rho}$

$E_v = -\frac{dp}{d\rho/\rho}$

体积弹性模量

流体可压缩性

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 28

体积弹性模量2

体积弹性模量 *bulk modulus of elasticity*

$$\frac{\delta \rho}{\rho} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T \delta p + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \delta T$$

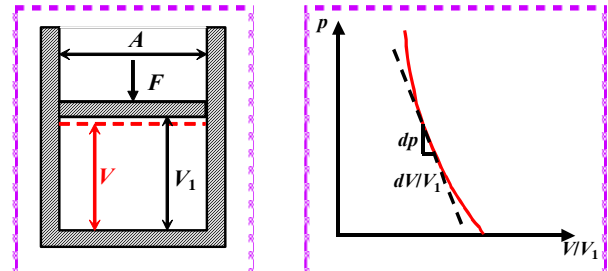
$$E_v = \rho \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T \Rightarrow E_v = \frac{dp}{d\rho/\rho} = - \frac{dp}{dV/V}$$

可压缩性的定义 *compressibility* \Rightarrow 压强变化引起流体体积或密度变化的属性

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 29

体积弹性模量3—液体

液体 \Rightarrow 压强与密度无简单表达式



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 30

体积弹性模量4—液体

液体的体积弹性模量很大，压缩性很小

水的体积弹性模量随温度的变化

温度(°C)	0	10	20	50	100
E_v (N/m ²)	2.02×10^9	2.1×10^9	2.18×10^9	2.29×10^9	2.07×10^9

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 31

体积弹性模量5—气体

气体 \Rightarrow 根据过程方程、状态方程求解

① 等温过程 $\frac{p}{\rho} = C \Rightarrow E_v = p$

② 等熵过程 $\frac{p}{\rho^\kappa} = C \Rightarrow E_v = \kappa p$

	水	空气 (等温/标压)
E_v (Pa)	2.1×10^9	1.013×10^5

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 32

可压缩和不可压缩流体1

不可压缩流体 *incompressible fluid*

- ② 均质不可压缩流体 $\Rightarrow \rho = \text{const}$
- $\Rightarrow E_v \rightarrow \infty$
- ② 流体都具有可压缩性，不可压缩流体是一种假想的模型

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 33

可压缩和不可压缩流体2

液体 \Rightarrow **不可压缩**

- ② 水击、水下爆炸等必须考虑可压缩性

气体 \Rightarrow **可压缩**

- ② 低速流动且温差不大的气体可认为是不可压缩的

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 34

流体的可压缩性—例题1

例：把 20°C 水在 1 大气压下压缩 1% 所需的压强变化

解： $E_v = -\frac{dp}{dV/V} \Rightarrow E_v = -\frac{\delta p}{\delta V/V}$

查附表B1 $E_v = 2.21 \times 10^9 \text{ Pa}$

$\Rightarrow \delta p = 2.21 \times 10^9 \times 0.01 = \underline{2.21 \times 10^7} \text{ Pa}$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 35

流体的可压缩性—例题2

例：求空气在标准大气压下等温压缩 50% 时压强需增加到多少？

解： $E_v = -\frac{dp}{dV/V} \Rightarrow dV/V = -\frac{dp}{p}$

$\Rightarrow \ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{p_1}{p_2}$

$\Rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = 2.026 \times 10^5 \text{ Pa}$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 36

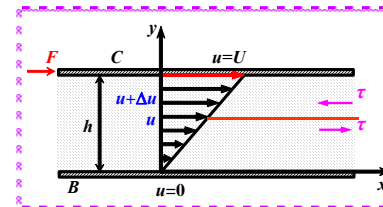
1.4 流体的粘性 viscosity

问题

- ① 什么是粘性
- ② 粘性产生的原因是什么, 跟什么因素有关
- ③ 粘性力的大小跟什么有关
- ④ 什么参数可以用来衡量流体粘性的大小


2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 37

流体的粘性定义

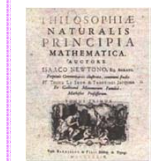


流体抵抗剪切变形 (相对运动) 的一种属性

- ① 粘性是流体的固有属性
- ② 流体层间无相对运动时不表现粘性



Isaac Newton
1642–1727



自然哲学的
数学原理

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 38

粘性产生的机理1

液体 → **分子间内聚力**

流体团剪切变形

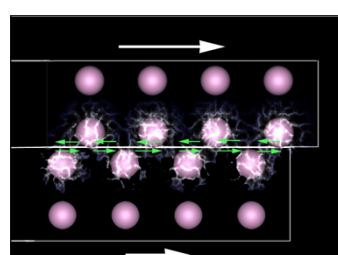
↓

改变分子间距离

↓

分子间引力阻止距离改变

→ **内摩擦抵抗变形**



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 39

粘性产生的机理2

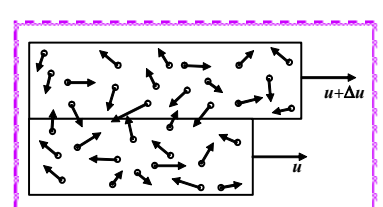
气体 → **分子热运动**

流体层间相对运动

↓

分子热运动产生流体层与层之间的动量交换

→ **内摩擦抵抗相对运动**



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 40

粘性应力 (内摩擦应力) 1

切应力 shear stress

$$\tau = \frac{F}{A} \propto \frac{U}{h} = \mu \frac{U}{h}$$

牛顿内摩擦定律

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

velocity gradient $\frac{du}{dy}$ \uparrow 速度梯度

粘性切应力与层间速度梯度成正比，而不由速度决定

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 41

粘性应力 (内摩擦应力) 2

牛顿内摩擦定律 $\Rightarrow \tau = \mu \frac{du}{dy}$

从相对运动的角度反映内摩擦力

$$\tau = \mu \frac{d\alpha}{dt}$$

strain rate $\frac{d\alpha}{dt}$ \uparrow 角变形率

粘性切应力与角变形率成正比，而不由变形量决定

从剪切变形的角度反映内摩擦力

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 42

动力粘性系数 μ

动力粘度 $\Rightarrow \mu = \frac{\tau}{du/dy}$ Pa·s viscosity

μ 反应流体真实粘性的大小

μ 与温度的关系

液体 $T \uparrow \mu \downarrow$

气体 $T \uparrow \mu \uparrow$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 43

运动粘性系数 ν

运动粘度 $\Rightarrow \nu = \frac{\mu}{\rho}$ m²/s kinematic viscosity

ν 不能真实反应流体粘性的大小

附表B 1 ~ 2, P. 534

20°C	μ (Pa·s)	ν (m ² /s)
水	1.002×10^{-3}	1.003×10^{-6}
空气	1.81×10^{-5}	1.5×10^{-5}

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 44

几个概念1

牛顿流体与非牛顿流体 ← **是否符合牛顿内摩擦定律**

符合 → **牛顿流体** *Newtonian fluid*

不符合 → **非牛顿流体** *Non-Newtonian fluid*

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 45

几个概念2

理想流体 → **粘性系数为零的流体**

inviscid fluid
ideal fluid $\mu = 0$

② 实际流体都具有粘性，粘性是流体的基本属性

理想流体理论在描述平面和空间无旋流动、液面波浪运动，物体升力（19世纪）等方面取得很大成功，但却解释不了绕流物体阻力和河道水头损失等问题

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 46

粘性—例题1-1

几个概念：

转速 n (r/min)

角速度 ω (rad/s) = $2\pi n / 60$

线速度 u (m/s) = $r\omega = d\omega / 2$

功率 N (w) = $F \cdot u = F \cdot r\omega = M\omega$

转矩 M (N.m) = $F \cdot r = F \cdot d / 2$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 47

粘性—例题1-2

例：已知轴承长 $L = 0.5\text{m}$ ，轴径 $d = 150\text{mm}$ ，转速 $n = 400\text{r/min}$ ，轴与轴承间隙 $\delta = 0.25\text{mm}$ ，作用在转轴上的摩擦力矩 $M = 10.89\text{ N}\cdot\text{m}$ ，求 μ

解：1、切应力

$$dM = \frac{d}{2} dF = \frac{d}{2} \cdot \frac{d}{2} d\theta \cdot L \cdot \tau \quad \Rightarrow \quad M = \int dM$$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 48

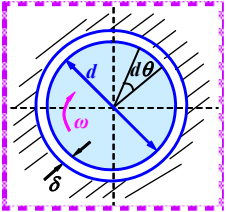
粘性—例题1-3

$$\Rightarrow M = \int_0^{2\pi} \left(\frac{d}{2}\right)^2 \tau L d\theta$$

2、速度梯度

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{\pi \omega n}{60 \delta}$$

$$\Rightarrow M = \frac{d}{2} L \pi \mu \frac{\pi \omega n}{60} \Rightarrow \mu = \frac{120 M \delta}{d^3 \pi^2 n L}$$



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 49

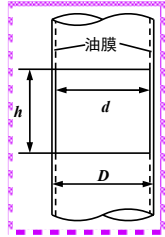
粘性—例题2-1

例：如图所示一重9N的圆柱体在同心圆管中以46mm/s的速度匀速下落，柱体直径 $d = 149.5\text{mm}$ ，高度 $h = 150\text{mm}$ ，圆管直径 $D = 150\text{mm}$ ，柱体与圆管间存在油膜，求油的动力粘性系数 μ

解：圆柱匀速下落，受力平衡

柱体与圆管间隙很小，可认为速度线性分布，则柱体所受切应力为

$$\Rightarrow \tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{V}{\delta}$$



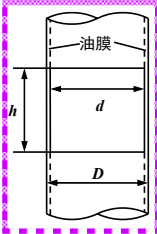
2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 50

粘性—例题2-2

柱体所受阻力与重力平衡

$$\Rightarrow G = \tau A = \mu \frac{V}{\delta} A$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{G}{\pi h \left(V / \frac{D-d}{2} \right)} = 0.694 (\text{Pa} \cdot \text{s})$$

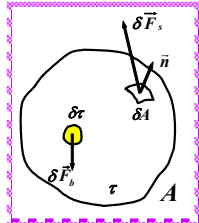


2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 51

1.7 作用在流体上的力

质量力 *body force*

- ① 作用在流体的每个质点上
- ② 大小与流体质量成正比
- ③ 重力、惯性力等



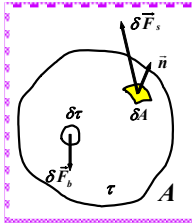
单位质量力 $\Rightarrow \vec{f} = \lim_{\delta\tau \rightarrow 0} \frac{\delta \vec{F}_b}{\rho \delta \tau} = \vec{f}(x, y, z, t) \quad \text{m/s}^2$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 52

作用在流体上的力2

表面力 *surface force*

- ① 作用在流体的封闭界面上
- ② 大小与流体表面积成正比
- ③ 压力、摩擦力等



表面应力 $\vec{p}_n = \lim_{\delta A \rightarrow 0} \frac{\delta \vec{F}_s}{\delta A} = \vec{p}_n(x, y, z, t, \vec{n})$ Pa

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 53

作业

作业：P.25~27

- ① 1-4
- ② 1-7
- ③ 1-11
- ④ 1-17
- ⑤ 1-18

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 54

小结1

- 流体的定义** \leftarrow 不能承受剪切力
- 连续介质模型** \rightarrow { 流体质点
连续介质模型 }
- 流体的粘性** \rightarrow { 牛顿内摩擦定律
粘性产生的机理
两种粘性系数 }

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 55

小结2

- 流体的可压缩性** \rightarrow { 可压缩性定义
体积弹性模量 }
- 作用在流体上的力** \rightarrow { 质量力
表面力 }
- 几个概念**
理想流体、牛顿流体、不可压缩流体

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 56

小结3

公式

牛顿内摩擦定律 $\Rightarrow \tau = \mu \frac{du}{dy} \quad \tau = \mu \frac{d\alpha}{dt}$

运动粘性系数 $\Rightarrow \nu = \frac{\mu}{\rho}$

体积弹性模量 $\Rightarrow E_v = \frac{dp}{d\rho/\rho} \quad E_v = -\frac{dp}{dV/V} = \frac{1}{\beta_p}$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 57

小结4

公式

体积弹性模量—等温 $\Rightarrow E_v = p$

体积弹性模量—等熵 $\Rightarrow E_v = \kappa p$

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 58

流体力学应用—高尔夫球




高尔夫球运动起源于15世纪的苏格兰，右图为最早的高尔夫球（皮革已龟裂）



高尔夫球表面有很多窝坑，在同样大小和重量下，飞行距离为光滑球的5倍



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 59

流体力学应用—泳衣



不穿泳衣的阻力比穿泳衣要大9%

泳衣设计的运动力学原理—物体越呈流线型，阻力越小，速度就越快

条纹沟槽降阻如鲨鱼皮肤、泳衣等

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 60

流体力学应用—汽车1



奔驰专利1号
1886
15km/h




戴姆勒1号
1886
16km/h




实际汽车阻力来自后部，边界层分离导致的尾迹区，解决方法—流线型

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 61


流体力学应用—汽车2

◎ 19世纪末 →  箱型车, $C_D = 0.8$


◎ 甲壳虫型汽车




美国 克莱斯勒 气流牌
(1934年) 该车首先采用流线型。



美国 林肯和福特 (1936年)
继气流牌以后最初车型，精心设计的散热器罩具有动感。



德国 大众牌1200 甲壳虫型小客车
4缸 风冷气阀机 34 马力 115 公里/小时



甲壳虫型车后背酷似甲壳虫的外壳

最初的流线型设计汽车

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 62

流体力学应用—汽车3

◎ 船型汽车



美国福特 V8 型小客车 (1949年)
首先采用船型造型，从而开始了船型车的时代



美国 通用 旁蒂克·博纳维尔·维斯达牌小客车 (1959年)
车后带有垂直尾翼。



船型，发动机前置，风压中心位于汽车重心之后，解决了甲壳虫型车遇到横风不稳定的问题

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 63

流体力学应用—汽车4

◎ 鱼型汽车



别克牌, 1952



福特 野马GT350, 1965

鱼型，船型车的后窗玻璃逐渐倾斜 倾斜的极限成为斜背式，气流也比较平顺 涡流阻力也较小，但升力较大，抵挡横风能力不佳

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 64

流体力学应用—汽车5

◎ 楔形汽车



楔型，车身前部呈尖形且向前下方倾斜，车身后部像刀切一样平直，这种造型可以有效地克服升力问题，今天的新型轿车大多采用该结构

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 65

流体力学应用—汽车6

◎ 未来汽车



奔驰鱼型仿生概念车
 $C_D = 0.19$
风洞测试不到0.1

玛莎拉蒂鸟笼

兰博基尼Alar

现代汽车风阻系数大概在 0.28~0.4 之间，跑车可达 0.25，一些赛车可达 0.15。合理的外形使汽车具有更好的动力特性、更低的油耗和更舒适的乘坐性

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 66

流体力学应用—汽车7



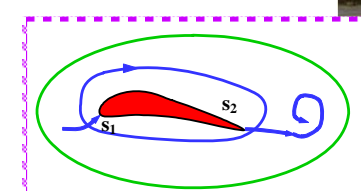
世界上最烧钱的一种运动—F1，基本不考虑乘坐舒适性。空气动力学是 F1 赛车的灵魂

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 67

流体力学应用—飞机1

飞机的升力

◎ 环量的存在导致升力的产生



Boeing 747
70.66 × 64.4 × 19.33 (m)
最大起飞重量362~395吨

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 68

流体力学应用—飞机2




A380, $73 \times 80 \times 24$ (m), 最大起飞重量: 560吨




协和飞机, $61.7 \times 25.5 \times 11.3$ (m)

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 69

流体力学应用—飞机3




F18 F22




苏30 B52


2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 70

流体力学应用—建筑



Re = 200.



两条主钢缆每条约4000米, 直径1.12米, 由290根细钢缆组成, 重约5万吨



日本明石海峡大桥: 全长3911米, 主桥墩跨度1991米, 主桥墩海拔297米

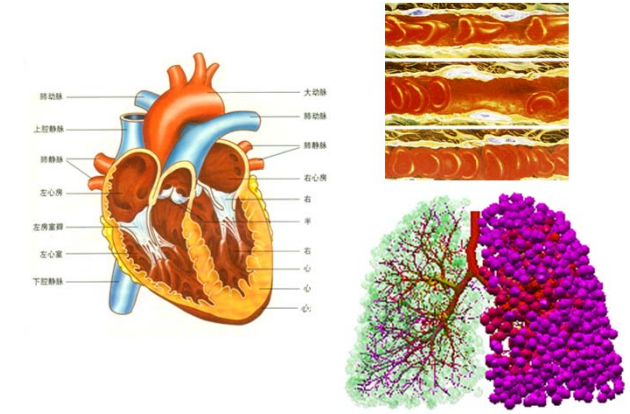
2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 71

流体力学应用—气象


2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 72

流体力学应用—医学



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 73

流体力学应用—工业



经锅炉加热
水 → 过热蒸汽

在汽机叶栅中膨胀、加速
→ 推动汽轮机转子旋转
热能—机械能

→ 汽轮机带动发电机发电
机械能—电能

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 74

流体力学应用—工业



2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 75

连续介质模型思考题

下列有关流体质点的描述，错误的是

- A、流体质点的尺寸远小于流动问题特征尺寸
- B、流体质点的宏观物理量具有确定性
- C、流体质点是由大量流体分子组成的流体团它的大小不超过0.1cm
- D、从微观上看，流体质点的尺寸远大于分子平均自由程

2022-5-26 西安交通大学流体力学课程组 76

流体的粘性思考题1

静止流体是否具有粘性？是否表现粘性？

理想流体是否具有粘性？

流体粘性与温度有什么样的关系？为什么？

两种粘性系数有什么区别？

2022-5-26

西安交通大学流体力学课程组

77

流体的粘性思考题2

与牛顿内摩擦定律有关的因素是

- A、流体的压强、速度、粘性系数
- B、流体的切应力，粘性系数，角变形率
- C、流体的法向应力、温度、粘性系数
- D、流体的压强、粘性系数、线变形率

2022-5-26

西安交通大学流体力学课程组

78

流体的可压缩性思考题

下列情况中哪些不符合不可压缩流体模型

- A、原油在输油管道中的流动
- B、空气的低速流动，温度变化不大
- C、锅炉里的水蒸汽流动

2022-5-26

西安交通大学流体力学课程组

79

复习 5/26/2022

流体 → 不能承受剪切力，易流动

流体质点 → 分子平均自由程 \ll 流体质点尺度
 \ll 流动问题的特征长度

连续介质模型 →

组成流体的最小物质实体是流体质点，流体由无限多的流体质点连绵不断地组成，质点之间无间隙

🧐 什么是粘性？粘性产生的机理是什么？牛顿内摩擦定律？

2022-5-26

西安交通大学流体力学课程组

80