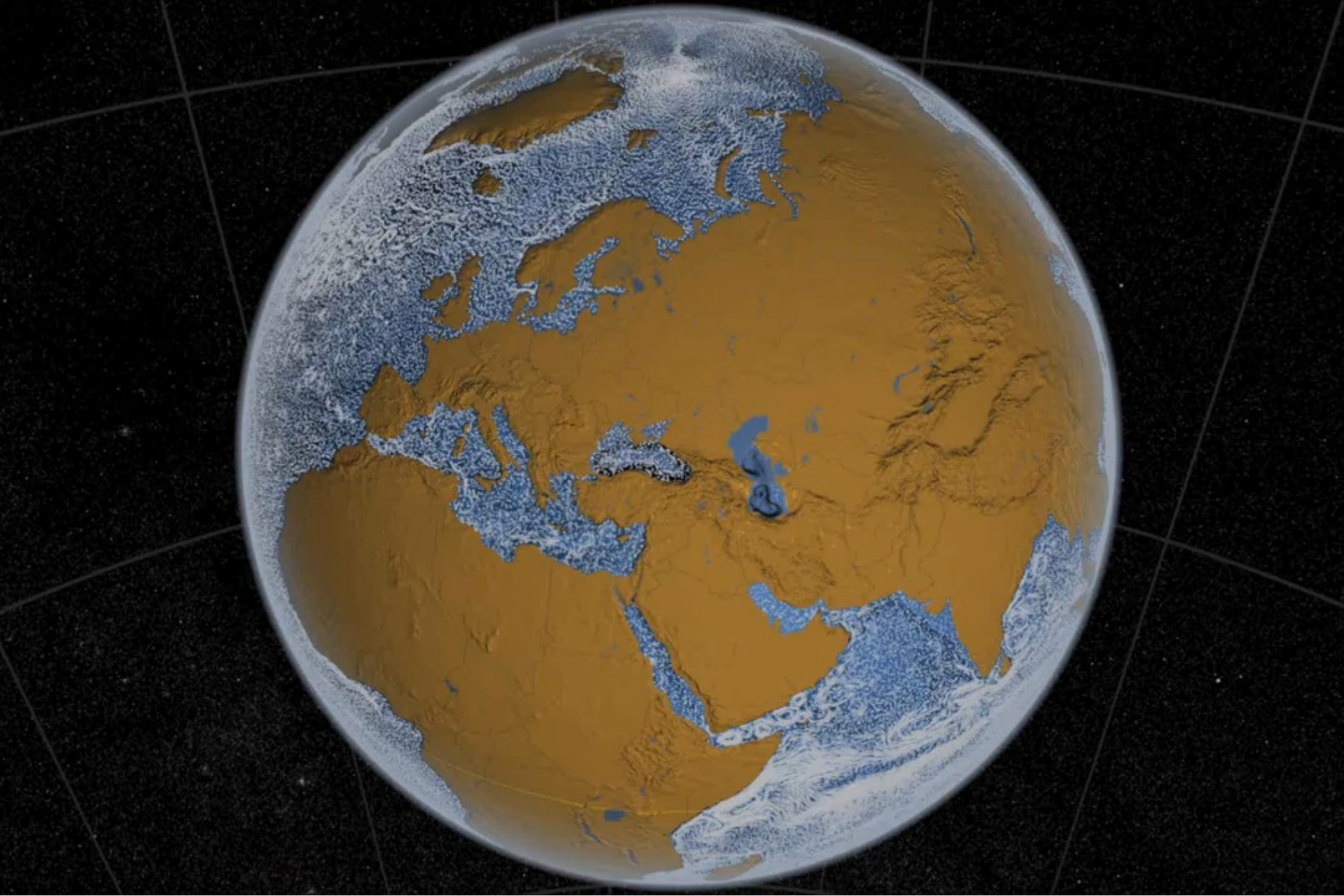


Engineering Fluid Mechanics

工程流体力学

第 1 章 绪论

教学团队：严　岩
李　晓
王　勇
莫景文
刘兴涛
孙东科

东南大学机械工程学院

05/27/2026

东南大学机械工程学院课程群 · 工程流体力学 2025

QQ 群：
1016820560

微信： DongkeSun

E-Mail： dksun@seu.edu.cn

办公室：机械楼 321/422



扫一扫二维码，加入群聊

课程简介 · 课程性质

工程流体力学（第三版）

归柯庭、汪军、王秋颖编著

科学出版社

流体力学（第 4 版）

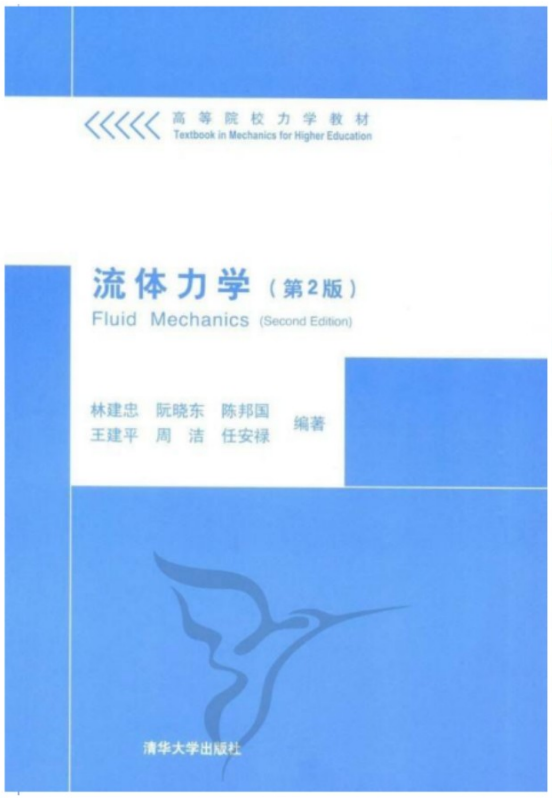
罗惕乾主编

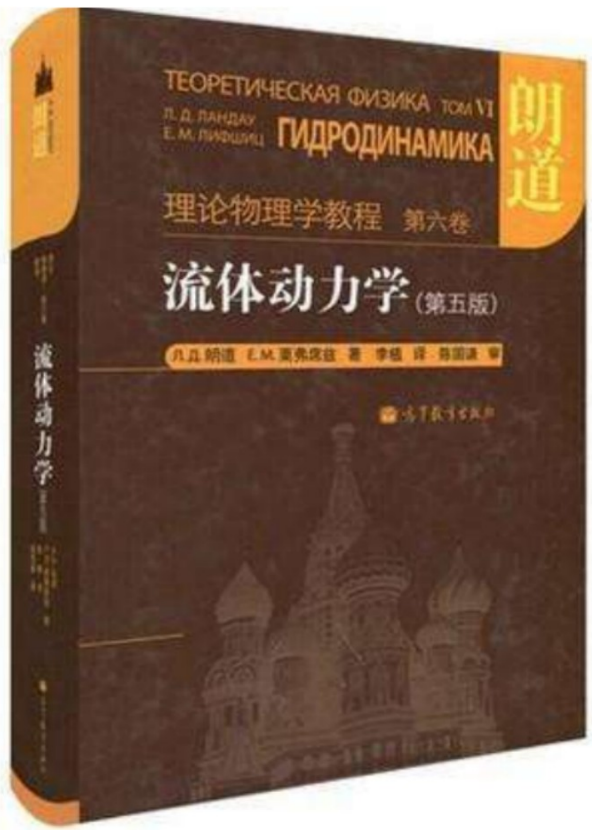
机械工业出版社





- 课程代码： B0201120
- 课程名称：工程流体力学 Engineering Fluid Mechanics
- 学分 / 总学时： 2 学分 /32 学时
- 讲课学时： 32 ； 实验学时： 0 ；
- 课程类别：大类学科基础课
- 开课学期：大二到大三的暑期学校
- 适用对象：机械工程专业大学二、三年级
- 先修课程：高等数学、线性代数、大学物理
- 后续课程：机械制造工程学、液压与气动技术









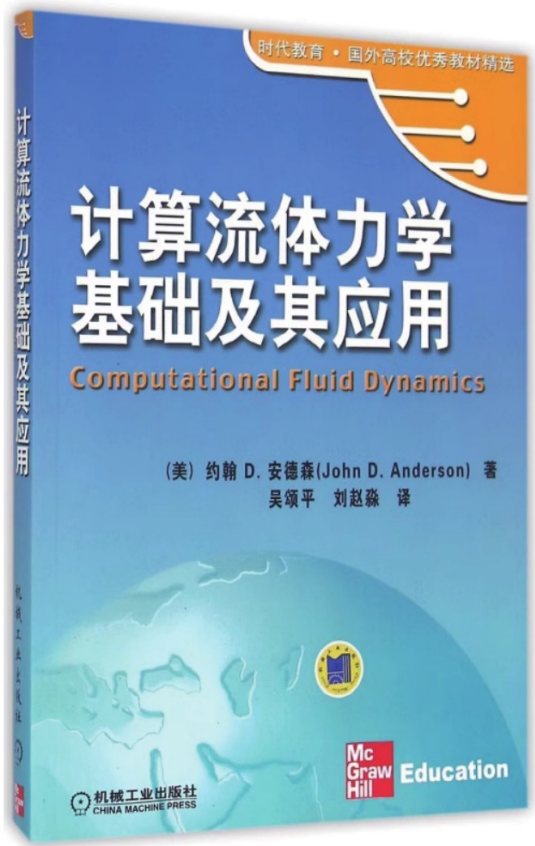
流体力学（第二版） 清华大学出版社 林建忠等 编著

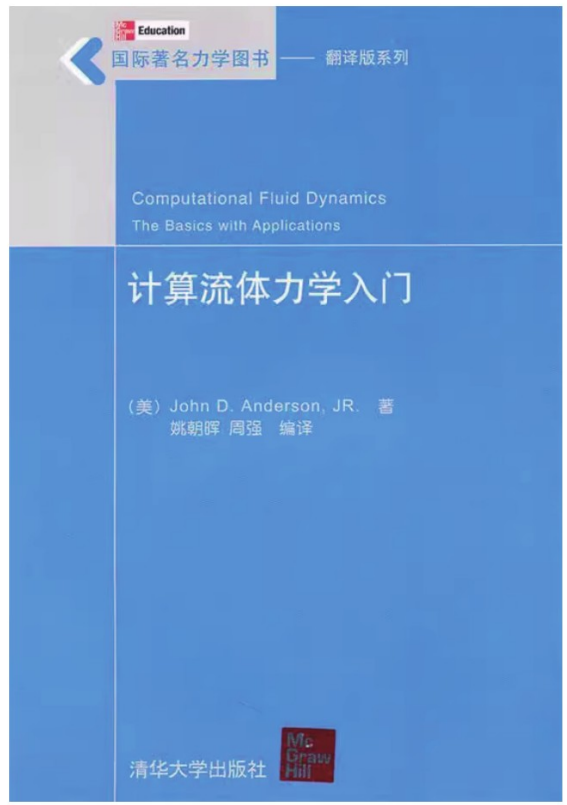
朗道理论物理学教程 流体动力学（第五版） 高等教育出版社 朗道著

流体力学（上下册） 北京大学出版社 吴望一 编著

高等工程流体力学 西安交通大学出版社 张鸣远、景思睿、李国君 编著







计算流体力学基础及应用 机械工业出版社 [美] John D. Anderson JR. 著，吴颂平、刘赵淼 译

计算流体力学入门 清华大学出版社 [美] John D. Anderson JR. 著，姚朝晖、周强 译

课程简介 · 课程目标

1. 能使用**流体力学基本方程**和计算方法分析并解决机械工程中的流体静力学和动力学的问题，为从事专业技术和科学研究工作打下必要的**流体力学基础**。
2. 通过课堂教学在传授流体力学专业知识的同时，通过**工程与科学**案例说明我国在流体力学方面的成就与不足，例如**都江堰**、**港珠澳大桥**、**国家数值风洞**等，增强学生的**荣誉感**、**使命感**和**责任感**。

目标	考核与评价方式及成绩分值			
	平时作业	大作业	期末考试	成绩
课程目标 1	10	10	15	35
课程目标 2	10	10	15	35
课程目标 3	-	-	30	30
总计	20	20	60	100

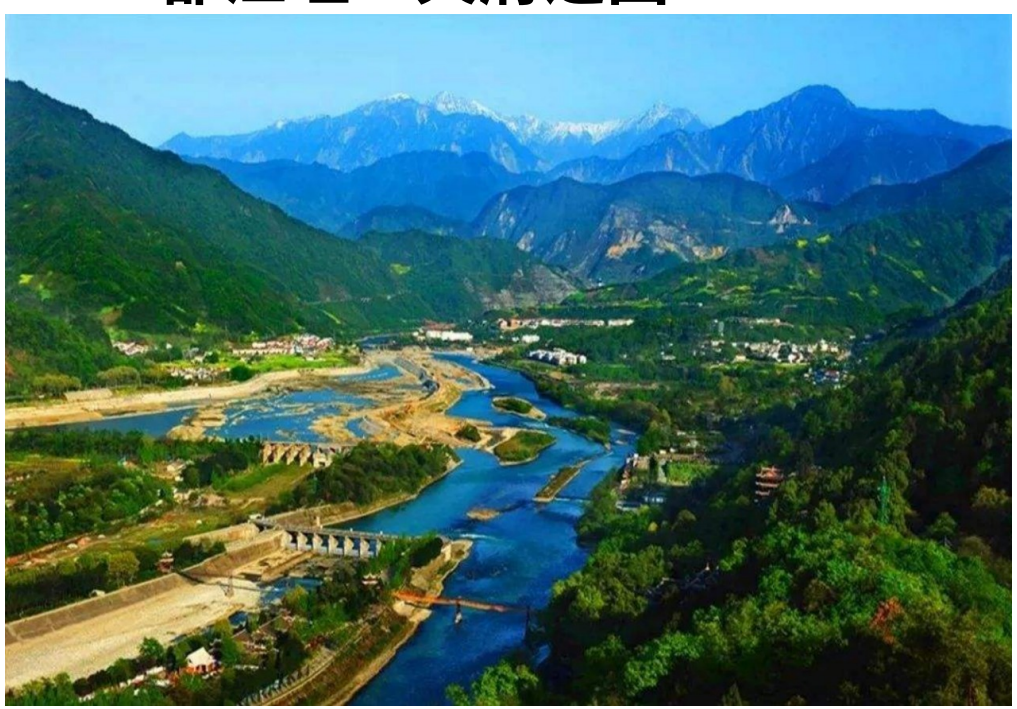
3. 对学生进行**德育教育**，培养学生的**科学精神**、**民族自豪感**和**爱国主义**情感；促进学生形成**良好的职业素养**和树立**科学的世界观**。

为什么要学习流体力学?

人类文明前进的每一小步几乎都伴有流体力学进展的影子。

我国古代著名水利工程:

都江堰 – 天府之国



京杭大运河



Image: https://ifengimg.com； https://baike.baidu.com/pic;

为什么要学习流体力学?

人类文明前进的每一小步几乎都伴有流体力学进展的影子。

今天的深海、极地、深空探测：

“雪龙”号极地科考船



“奋斗者”号万米载人潜水器

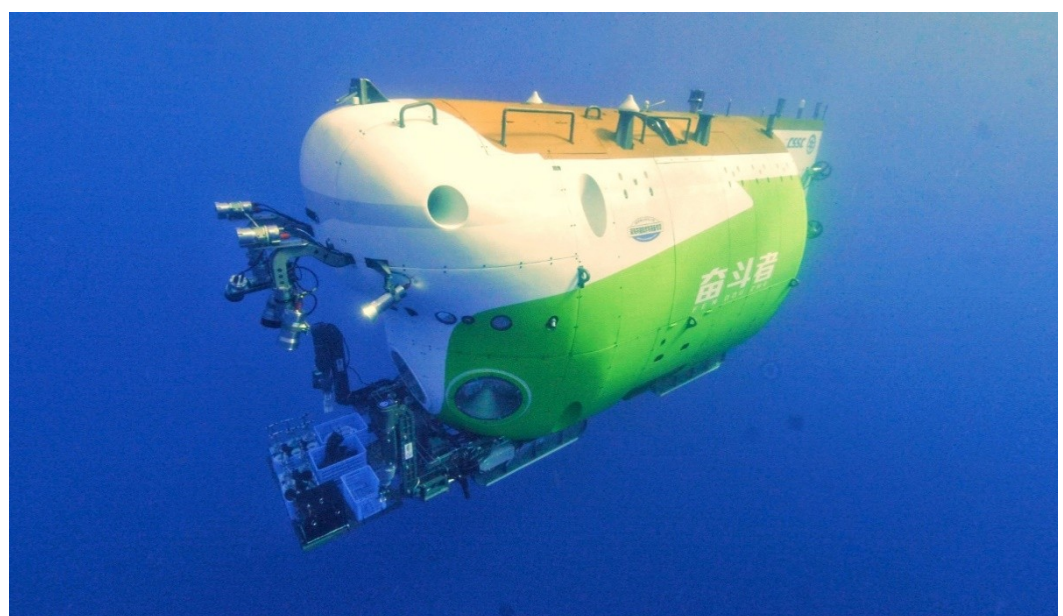
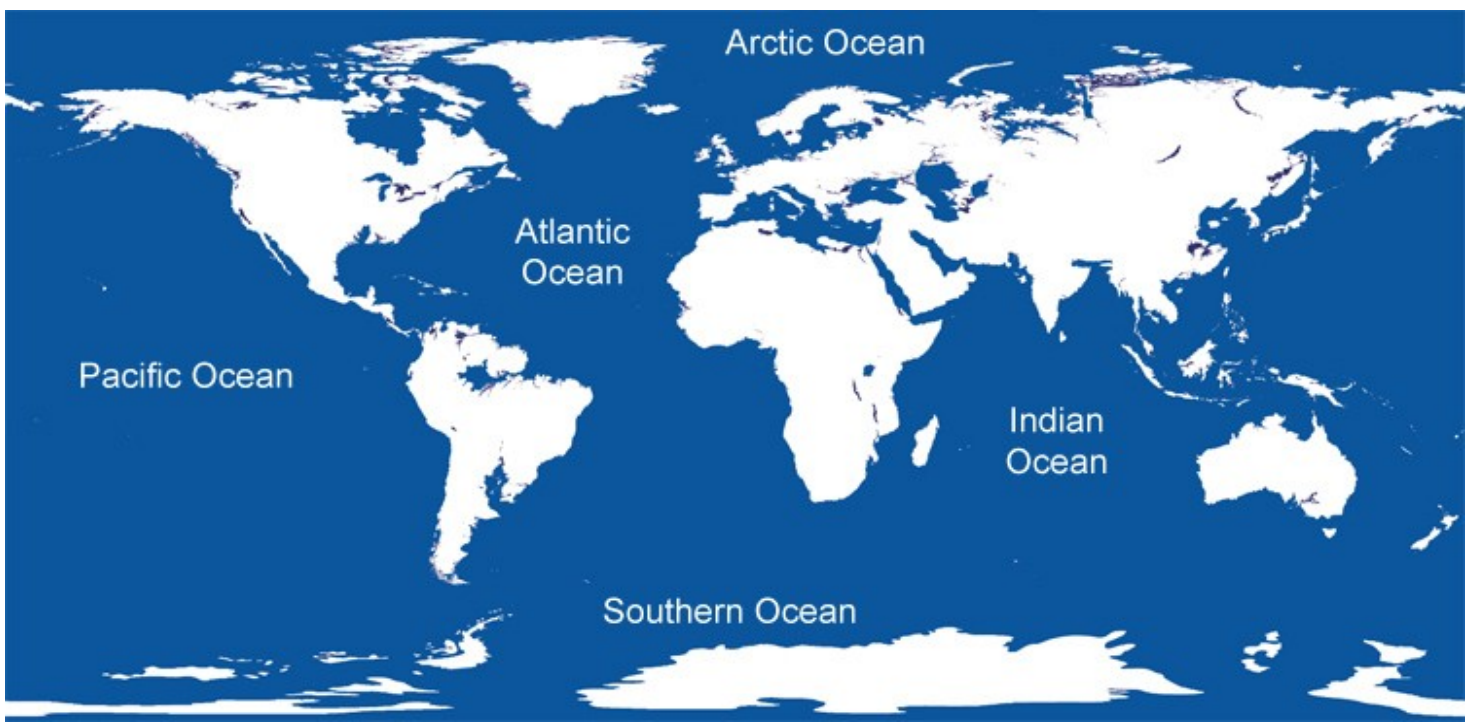


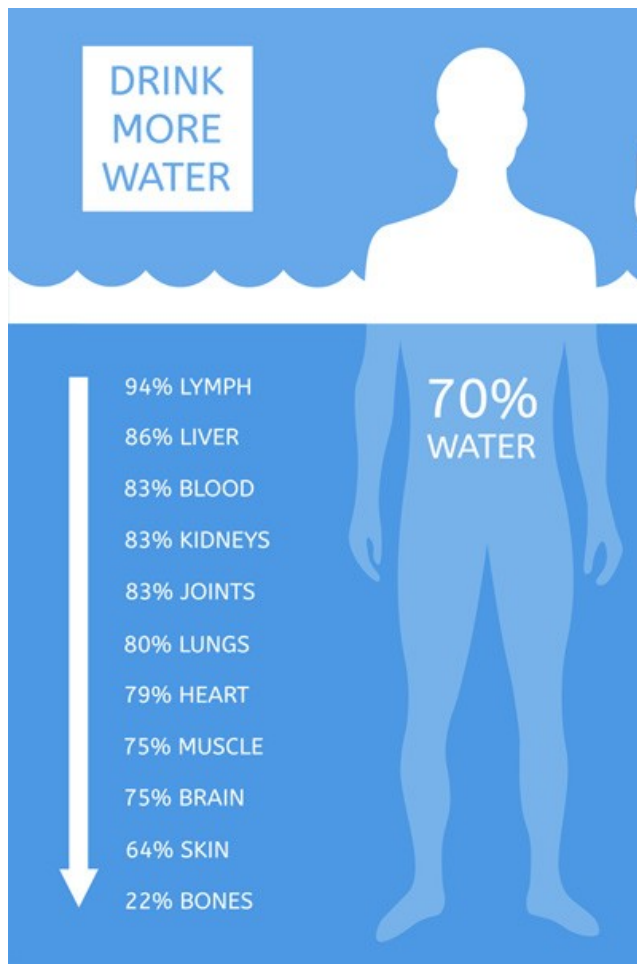
Image: https://ifengimg.com； https://baike.baidu.com/pic; https://news.sina.com.cn; https://www.whb.cn

为什么要学习流体力学?

人类生活在一个被流体包围着的世界，流体力学与我们的日常生活与生产实践紧密相连



海洋覆盖地球表面积的 71%



水分占人体重量的 70%

Image: https://www.surfertoday.com/; http://www.filterwater.com

第 1 讲 流体及其性质



目录

CONTENTS

1.1 流体的特性和定义

1.2 流体力学的发展简史

1.3 流体力学的工程应用

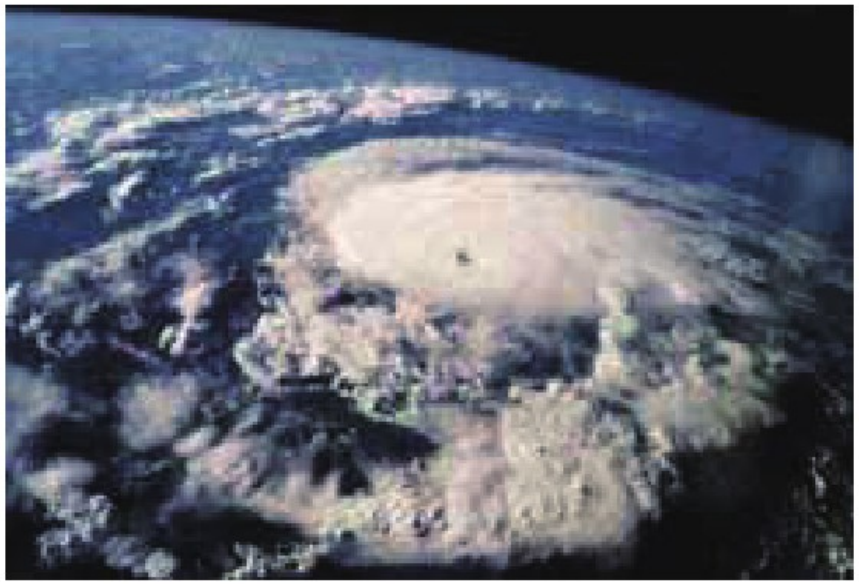
1.4 流体的连续介质假设

1.5 流体的主要物理性质

1.6 流体的黏性和牛顿内摩擦定律

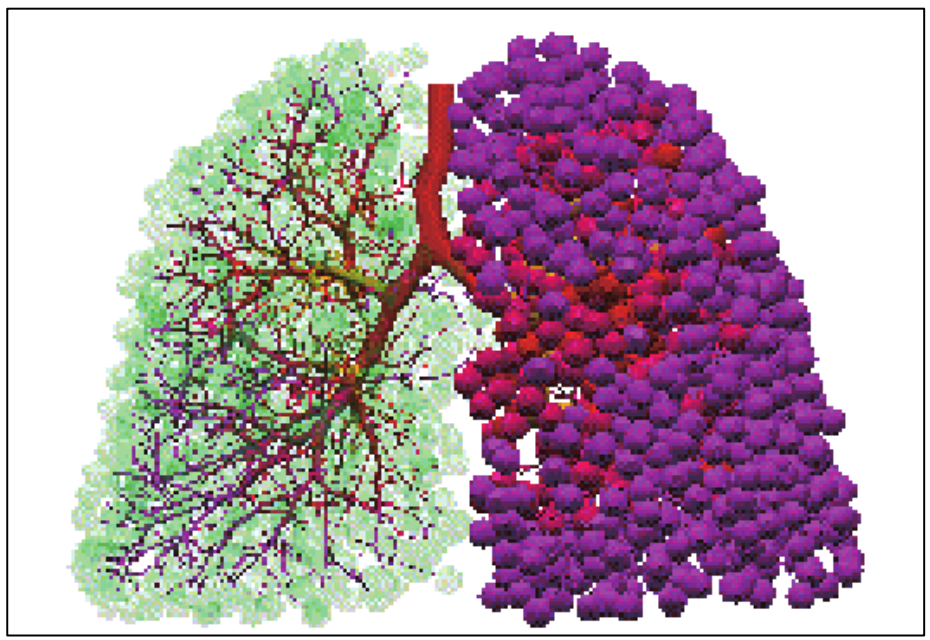
1.7 流体的表面张力

1.1 流体的定义与特性









1.1 流体的定义与特性



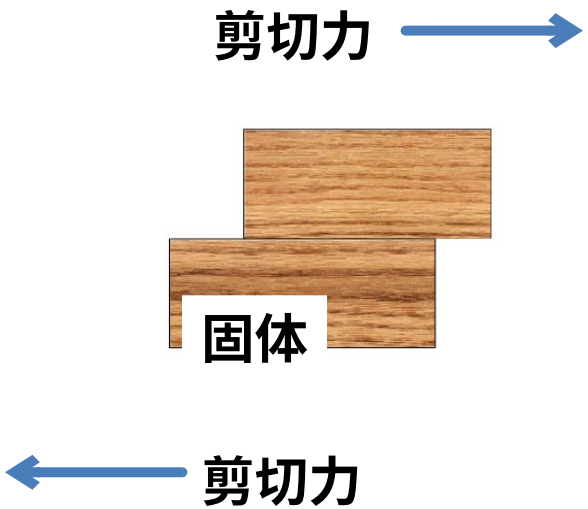
1.1 流体的定义与特性

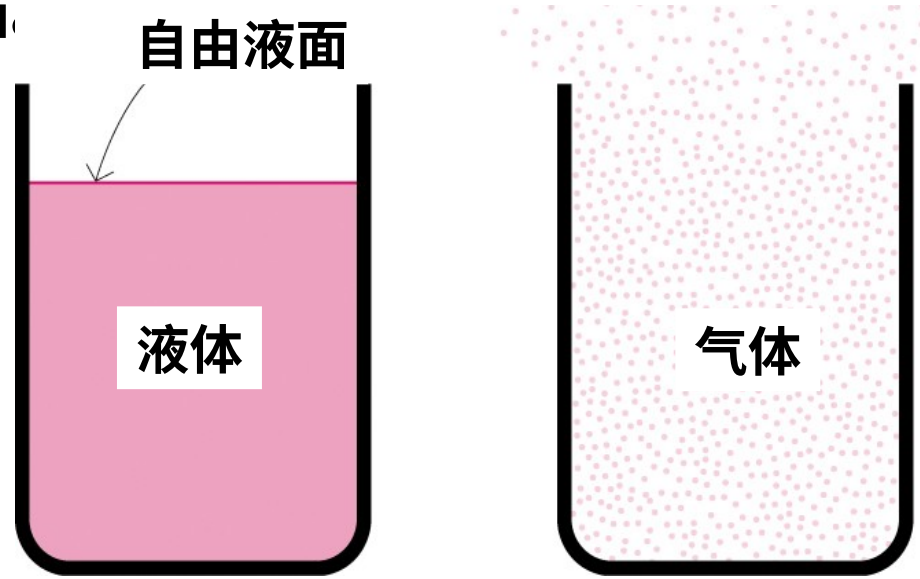
流体力学的研究对象是流体，那么什么是流体?

固体：有固定形状和体积，能承受压力，拉力，剪切力。

液体：无形状，有一定的体积；不易压缩，存在自由（液）面。

气体：既无形状，无体积，易于压缩

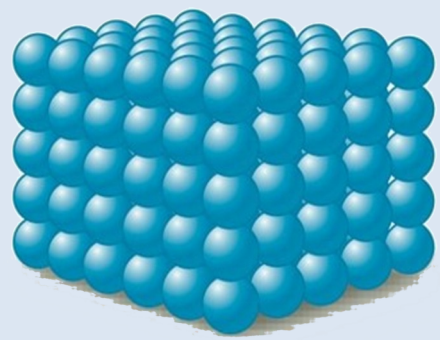
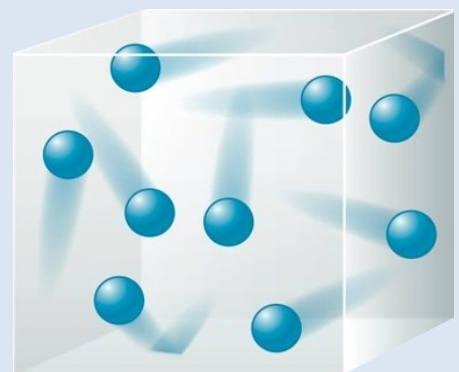




流体就是指液体或气体，如水空气、水蒸气、牛奶、润滑油、地下石油、血液、超高压作用下的金属和烟气、高温条件下的等离子体等等。

1.1 流体的特性与定义

为什么流体无法承受剪切应力？微观分子排列与流体特性的关系

物质状态	固态	液态	气态
示意图			
分子排列方式	紧密、有序排列；分子间作用力大，无法自由移动；	较紧密、无序排列；分子间作用力较小，分子运动强烈，易流动；	分子间距离大、分子间作用力微小；
宏观特性	有固定形状， 有固定体积；	无固定形状、 有一定体积、不易压缩；	无固定形状， 无固定体积，易于压缩。

流体的特性：不能承受拉应力和剪切力。即使在很小剪力作用下，它都会产生连续不断的变形而形成流动。

1.1 流体的定义与特性

流体的定义：

在任何微小的剪切力的作用下都能够发生连续变形的物质称为流体。通俗的说法就是，能够流动的物质叫流体。

A *fluid* is a substance which *deforms* continuously under the application of a *shear stress.*

1.2 流体力学发展简史

第一阶段 （16 世纪以前）	→	流体力学形成的 萌芽阶段
第二阶段 （16 世纪 -18 世纪中）	→	流体力学成为一门 独立学科的基础阶段
第三阶段 （18 世纪中叶 -19 世纪末）	→	流体力学沿着两个方向发展 — 欧拉、伯努利
第四阶段 （19 世纪末以来）	→	流体力学飞跃发展

1.2 流体力学发展简史 — 第一阶段

流体力学形成的萌芽阶段


大禹治水

- 公元前 2286 年－公元前 2278 年
  大禹治水——疏壅导滞（洪水归于河）
- 公元前 300 多年
  李冰　都江堰——深淘滩，低作堰
- 公元 584 年－公元 610 年
  隋朝　南北大运河、船闸应用
  埃及、巴比伦、罗马、希腊、印度等地水利、造船、航海产业发展
- 系统研究
  古希腊哲学家阿基米德《论浮体》（公元前 250 年）奠定了流体静力学的基础

Image: https://zhidao.baidu.com

1.2 流体力学发展简史 — 第二阶段

流体力学成为一门独立学科的基础阶段

- 1586 年　斯蒂芬——水静力学原理
- 1650 年　帕斯卡——“帕斯卡原理”
- 1612 年　伽利略——物体沉浮的基本原理
- 1686 年　牛　顿——牛顿内摩擦定律
- 1738 年　伯努利——理想流体的运动方程即伯努利方程
- 1775 年　欧拉——理想流体的运动方程即欧拉运动微分方程

1.2 流体力学发展简史 — 第三阶段

流体力学沿着两个方向发展——欧拉（理论）、伯努利（实验）

- **工程技术快速发展，提出很多经验公式**

  1769 年　谢才——谢才公式（计算流速、流量）

  1895 年　曼宁——曼宁公式（计算谢才系数）

  1732 年　比托——比托管（测流速）

  1797 年　文丘里——文丘里管（测流量）

- **理论**

  1823 年纳维， 1845 年斯托克斯分别提出粘性流体运动方程组（ N-S 方程）

1.2 流体力学发展简史 — 第四阶段

流体力学飞跃发展

- 理论分析与试验研究相结合

- 量纲分析和相似性原理起重要作用

  1883 年　雷诺——雷诺实验（判断流态）

  1903 年　普朗特——边界层概念（绕流运动）

  1933-1934 年　尼古拉兹——尼古拉兹实验（确定阻力系数）

  ……

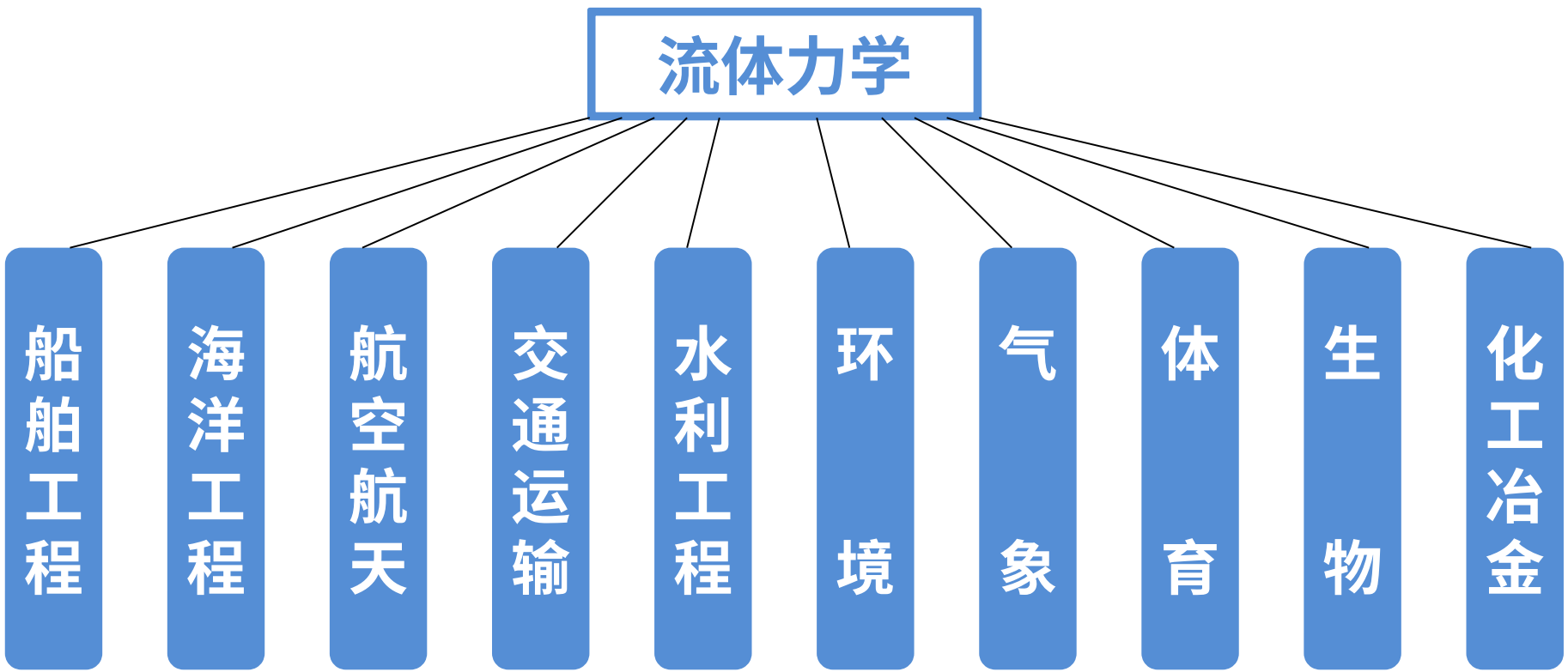
流体力学与相关的邻近学科相互渗透，形成很多新分支和交叉学科

1.2 流体力学发展简史 — 发展过程



1.3 流体力学的工程应用

流体力学是一门理论性很强的基础性学科，同时又是工程领域和现实生活中应用非常广泛的学科。



1.3 流体力学的工程应用 — 航空航天

中国火星探测计划、探月计划



天问一号发射

第五代战斗机



歼 -20 隐形战斗机

Image: https://new.qq.com; https://news.ifeng.com;

1.3 流体力学的工程应用 — 船舶工程

南昌号驱逐舰



中国人民解放军海军山东舰





中国人民解放军海军
福建舰

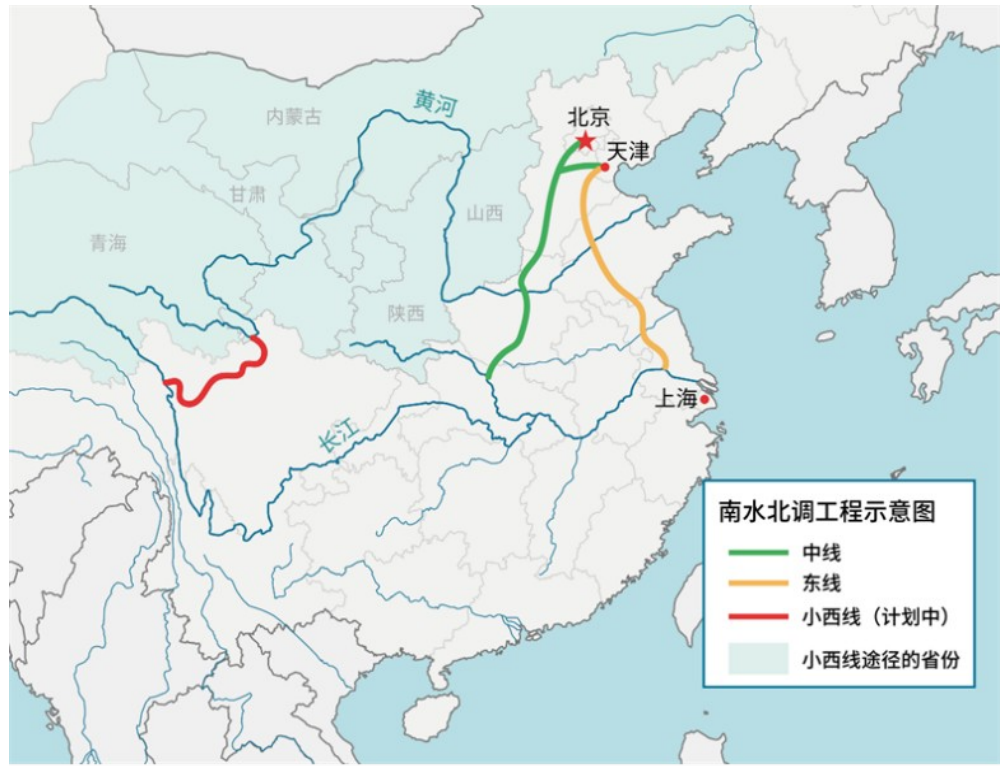
Image: https://new.qq.com; https://news.ifeng.com;

1.3 流体力学的工程应用 — 水利、能源

西气东输 – 能源大动脉



南水北调



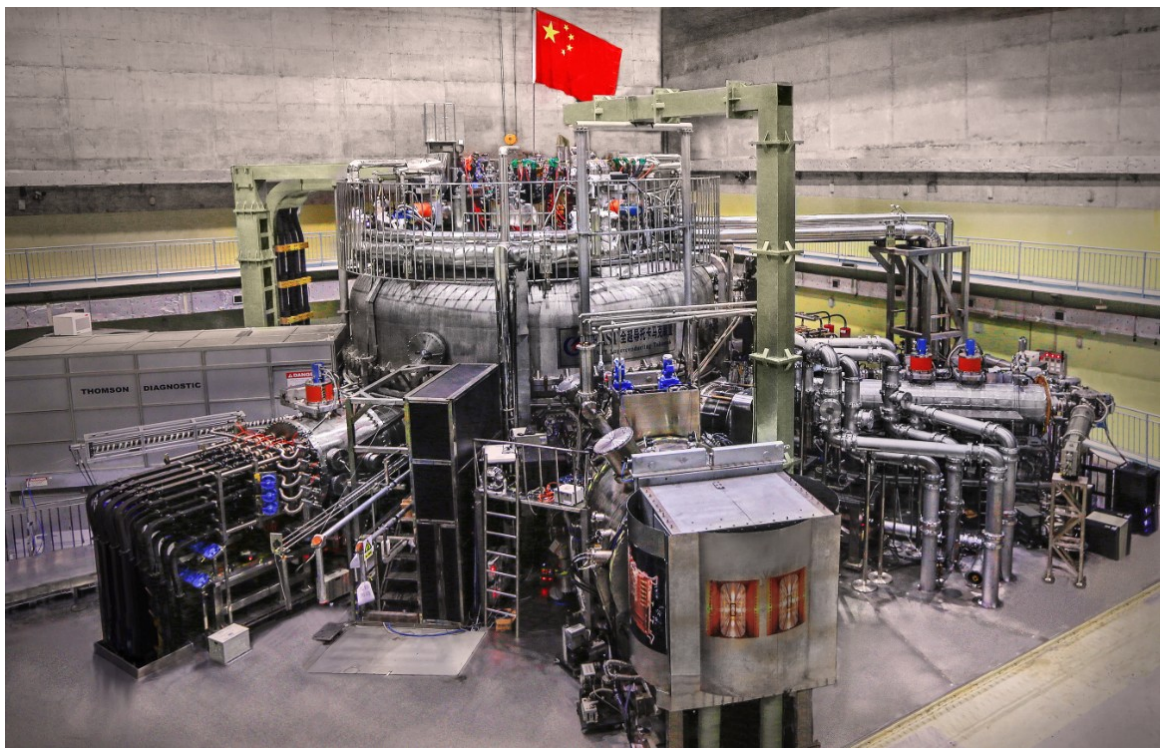
西气东输管线长 4200 千米，西起塔里木盆地，东至上海。年输气 12 立方千米，可减少二氧化碳排放 2 亿吨、减少二氧化硫排放 226 万吨

南水北调输水总长 4350 千米，南水北调累计调水 418.55 亿立方米，惠及人口 4.38 亿人

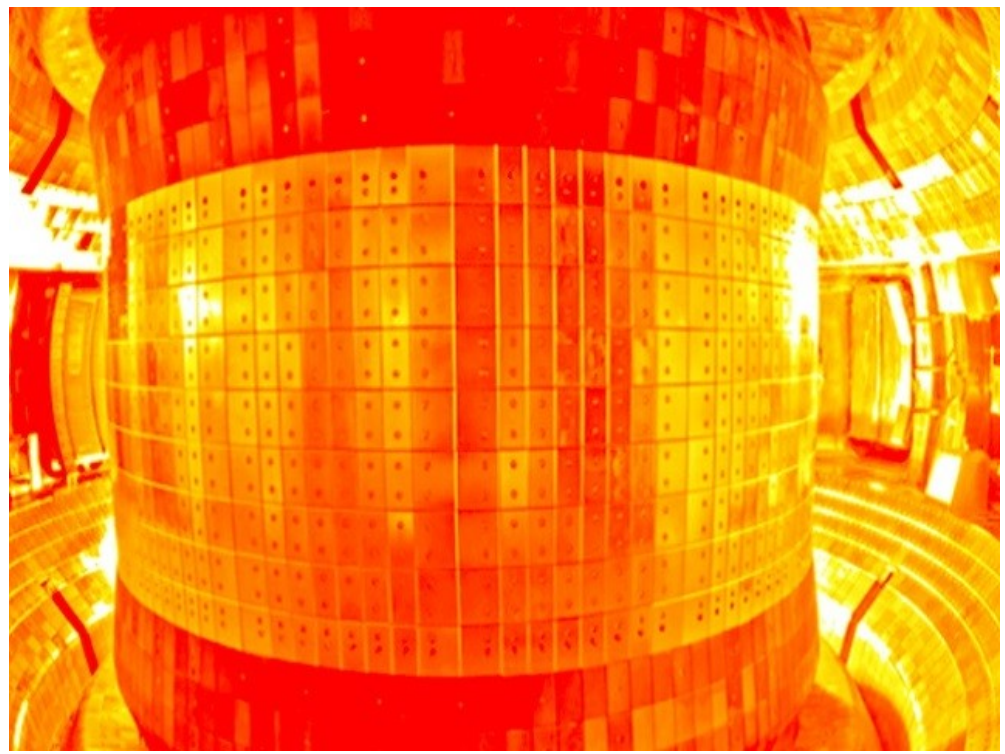
Image: http://photocdn.sohu.com; https://https://chinadialogue.net;

1.3 流体力学的工程应用 — 能源

全超导托卡马克聚变实验装置 (EAST)



托卡马克装置内部结构



21 年 5 月 28 日， EAST 创造了 1.2 亿摄氏度 101 秒等离子体运行的新纪录

托塔马克装置中的磁流体力学、磁流体稳定性问题，是聚变堆稳定运行的关键问题之一

Image: https://www.cdstm.cn; https://www.jagranjosh.com;

1.3 流体力学的工程应用 — 气象

玛利亚飓风（2017 年）



玛利亚飓风过后



17 年玛利亚席卷波多黎各，累计造成 2,975 人死亡，带来经济损失 430 亿美元以上

流体力学作为重要的基础学科，与工程实际、日常生活息息相关

Image: https://www.nationalgeographic.org/; https://time.com/; Image: https://www.nationalgeographic.org/;

1.4 流体的连续介质假设

研究流体力学的方法



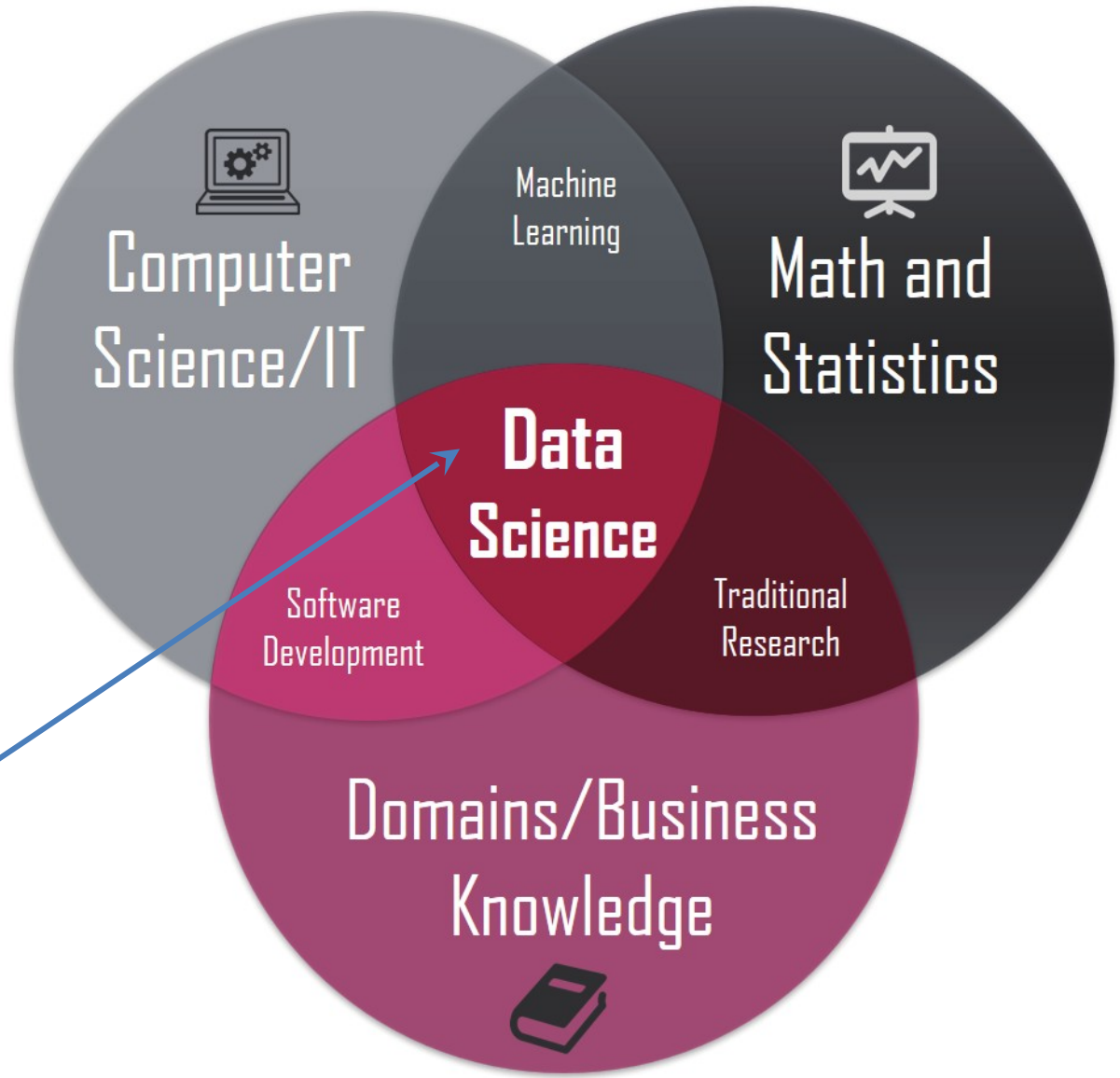
1.4 流体的连续介质假设

研究流体力学的方法

1. **实验研究**
2. **理论分析**
3. **数值模拟**

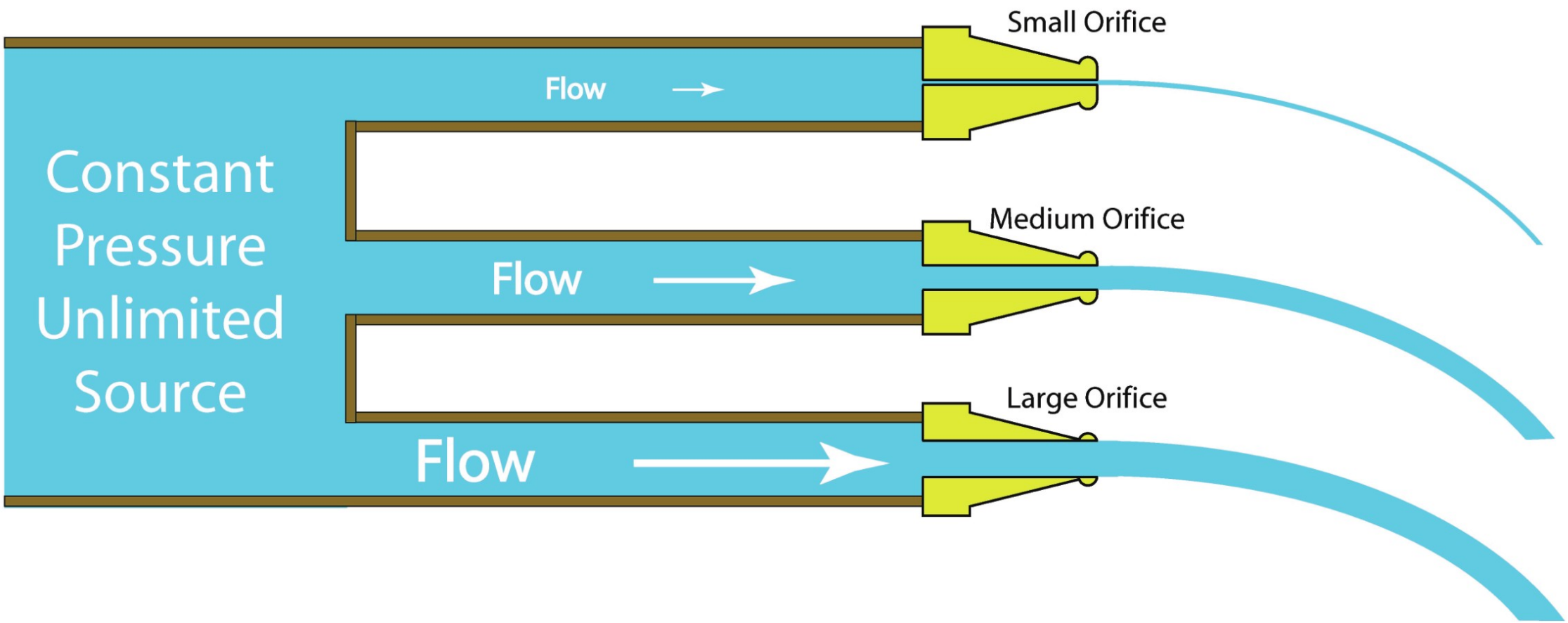
机理与数据融合

第四范式



1.4 流体的连续介质假设

一、流体的连续介质假设



1.4 流体的连续介质假设

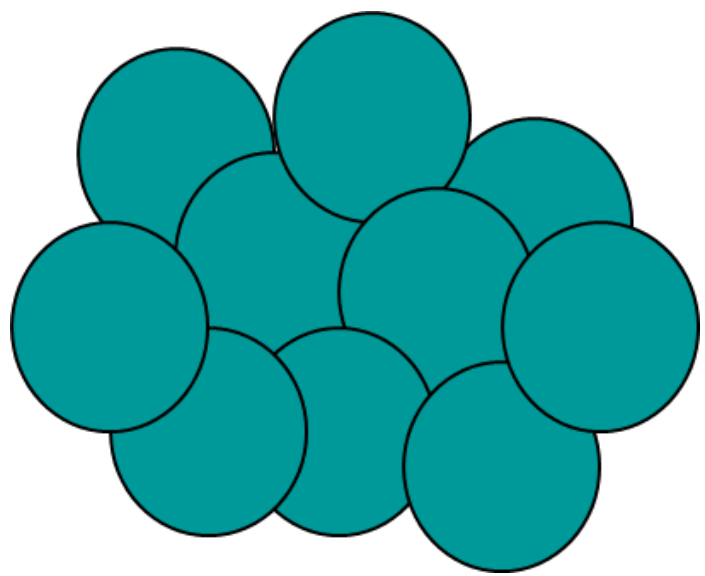
一、流体的连续介质假设

定义： 不考虑流体分子间的间隙，把流体视为由无数连续分布的**流体微团**组成的连续介质。

流体微团必须具备的两个条件：

- 必须包含足够多的分子
- 体积必须很小—质点

$$l \ll d \ll L.$$

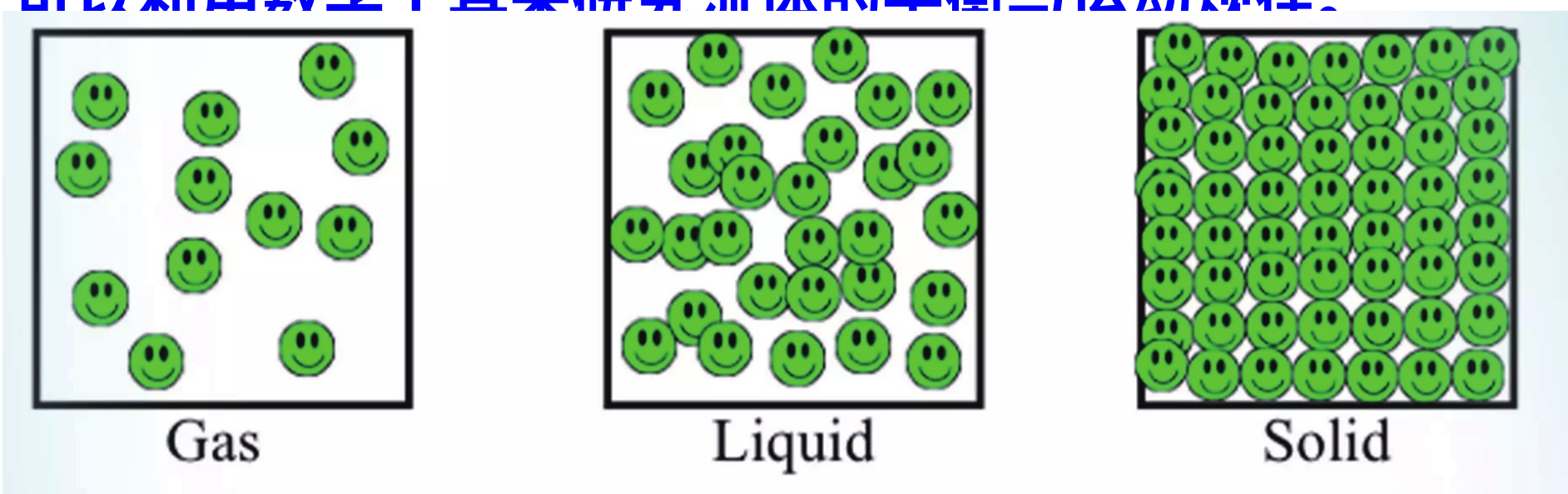


1.4　流体的连续介质假设

二、采用流体连续介质假设的优点

1. 避免了流体分子运动的复杂性，只需研究流体的宏观运动。

2. 可以利用数学工具来研究流体的平衡与运动规律。



1.5 流体的主要物理性质 — 密度

密度是表征物体惯性的物理量

1、流体的绝对密度

单位体积流体所具有的质量

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}V}$$

均匀流体： $\rho = \frac{m}{V}$

单位： kg/m³

常见流体的密度：

水—— 1×10³*kg/m³*

空气—— 1.23 *kg/m³*

水银—— 1.36×10⁵ *kg/m³*

1.5 流体的主要物理性质 — 密度

2、流体的相对密度

流体的密度与 4°C 时水的密度的比值

$$S=\frac{\rho_f}{\rho_w}$$

ρ_f — 流体的密度（kg/m^3）

ρ_w — 4°C 时水的密度（kg/m^3）

3、流体的比容

单位质量的流体所占有的体积，流体密度的倒数

$$v=\frac{1}{\rho}$$

单位： m^3/kg

1.5　流体的主要物理性质 — 压缩性



1.5 流体的主要物理性质 — 压缩性

1、流体的压缩性

流体体积随着压力的增大而缩小的性质

压缩系数

单位压力增加所引起的体积**相对变化量**

$$\beta_P = -\frac{1}{\mathrm{d}p}\frac{\mathrm{d}V}{V} \qquad (m^2/N)$$

体积模量

$$K_P = \frac{1}{\beta_P} \qquad (N/m^2)$$

1.5 流体的主要物理性质 — 膨胀性

2、流体的膨胀性

流体体积随着温度的增大而增大的性质

体积彭胀系数

单位温度增加所引起的体积**相对变化量**

$$\beta_T = \frac{1}{\mathrm{d}T}\frac{dV}{V}$$ 单位： 1/K

流体的体积膨胀系数还取决于压强。对于大多数液体，随压强的增加稍为减小。但水的在低于 50°C 时也随压强增大而增大。

1.5 流体的主要物理性质 — 压缩性

3、可压缩性流体和不可压缩性流体

可压缩性

流体体积随着压力和温度的改变而发生变化的性质

- **不可压缩流体：**

$$\rho = 常数$$

- **可压缩流体：**

$$\rho \neq 常数$$


黏性是什么
KAUST
Discovery

黏性是什么



Viscosity

Viscosity is a measure of a fluid's resistance to flow.



Water
Lower Viscosity
1.0 centipoise



Honey
Higher Viscosity
12,200.0 centipoise

sciencenotes.org

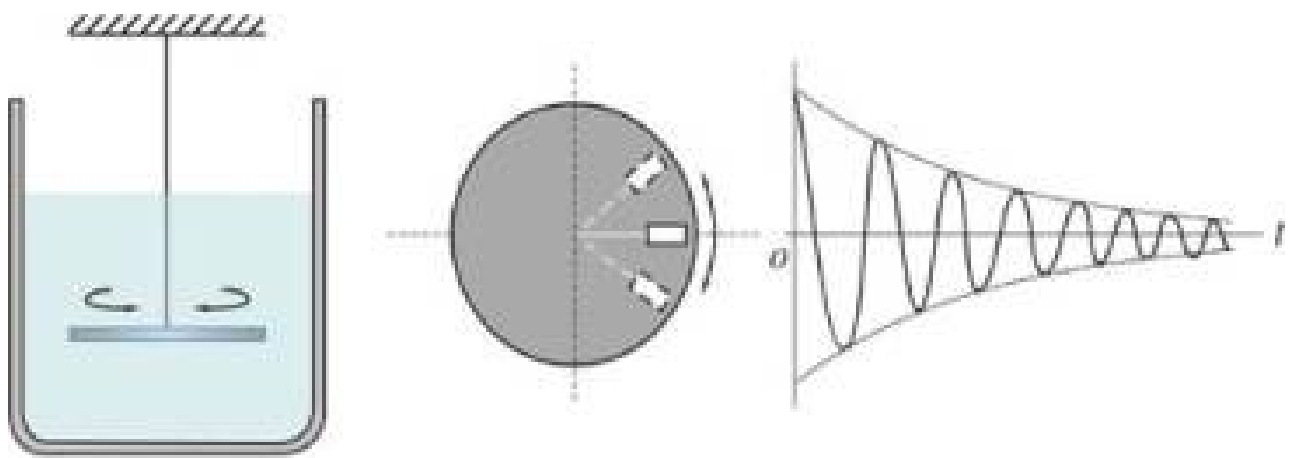
1.5　流体的黏性和牛顿内摩擦定律

黏性的定义

流体内部各流体微团之间发生相对运动时，流体内部会产生摩擦力（即黏性力）的性质。

库仑实验 (1784)

库仑用液体内悬吊圆盘摆动实验证实流体存在内摩擦。



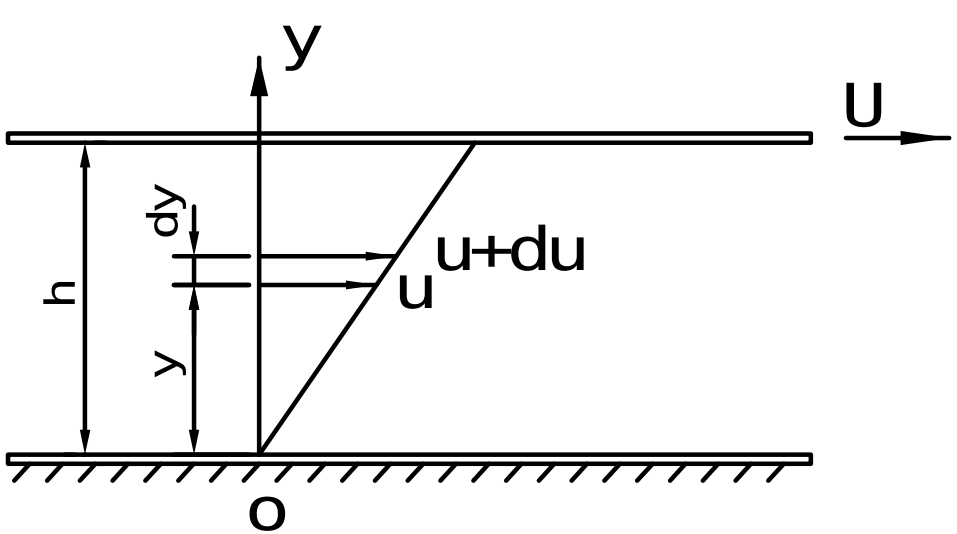
1.5 流体的黏性和牛顿内摩擦定律

流体黏性所产生的两种效应：

- **流体内部各流体微团之间会产生黏性力**
- **流体黏附于它所接触的固体表面**

2. 牛顿内摩擦定律

牛顿平板实验



当 h 和 u 不是很大时，两平板间沿 y 方向的流速呈线性分布

$$u = \frac{U}{h} y \quad \text{或} \quad \mathrm{d}u = \frac{U}{h} \mathrm{d}y$$

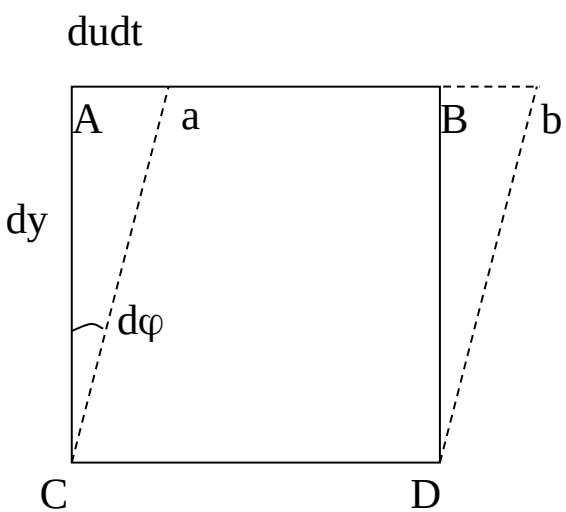
1.5 流体的黏性和牛顿内摩擦定律

实验表明，对于大多数流体，存在 $F \propto A\frac{U}{h} = A\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}$

引入比例系数 μ，得： $\tau = \mu\frac{du}{dy}$

μ-- 动力黏度，简称黏度

牛顿内摩擦定律表明：



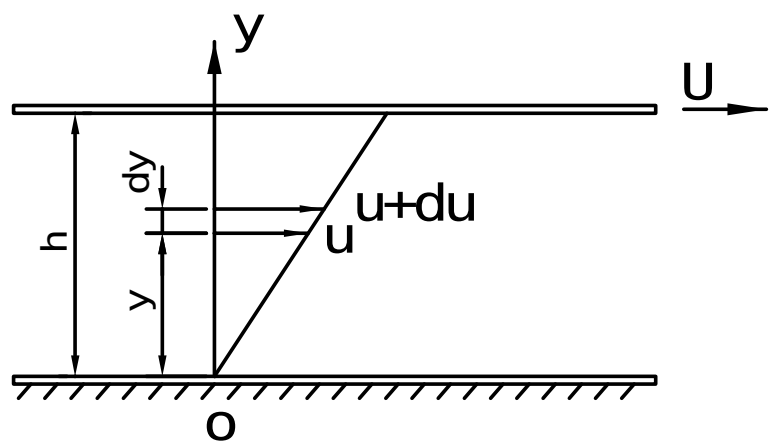
（1）黏性切应力与速度梯度成正比

（2）黏性切应力与角变形速率成正比

$$\frac{d\varphi}{dt} = (\frac{dudt}{dy})/dt = \frac{du}{dy}$$

1.5 流体的黏性和牛顿内摩擦定律

流体黏性大小的度量，由流体流动的内聚力和分子的动量交换引起。



(1) 动力黏度

$$\mu \qquad (kg/(m\cdot s))$$

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

(2) 运动黏度

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad (m^2/s)$$

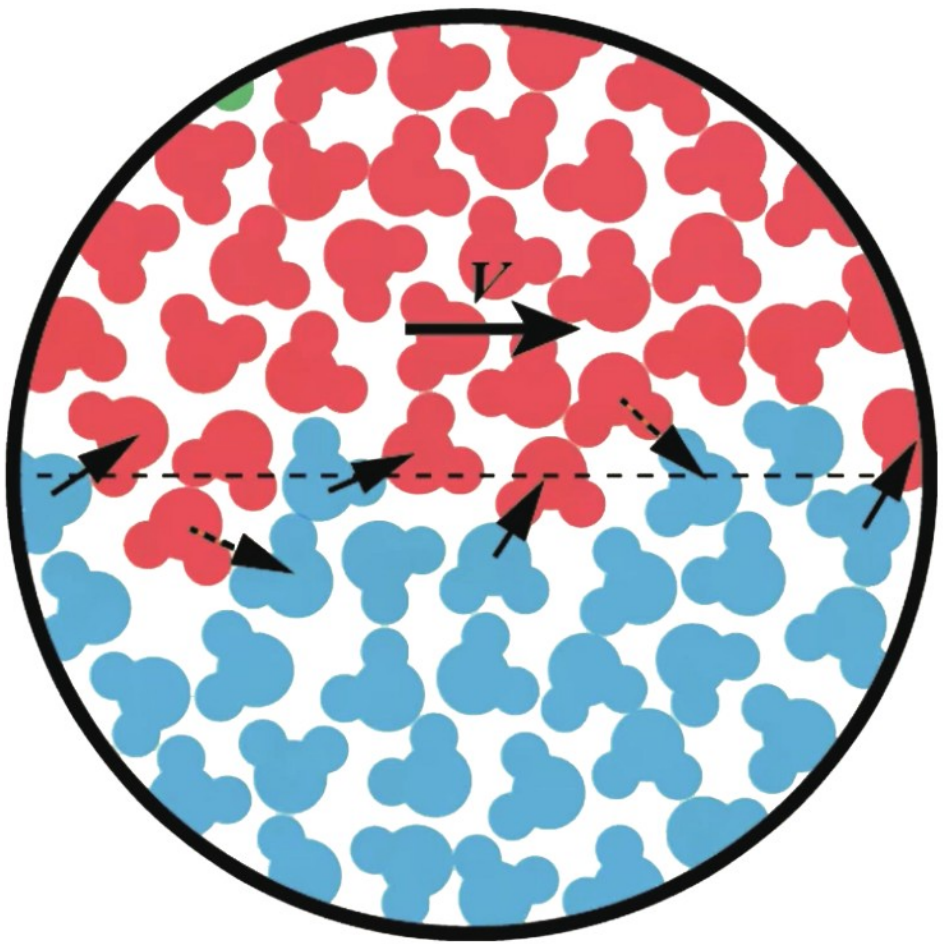
(3) 黏度的测量

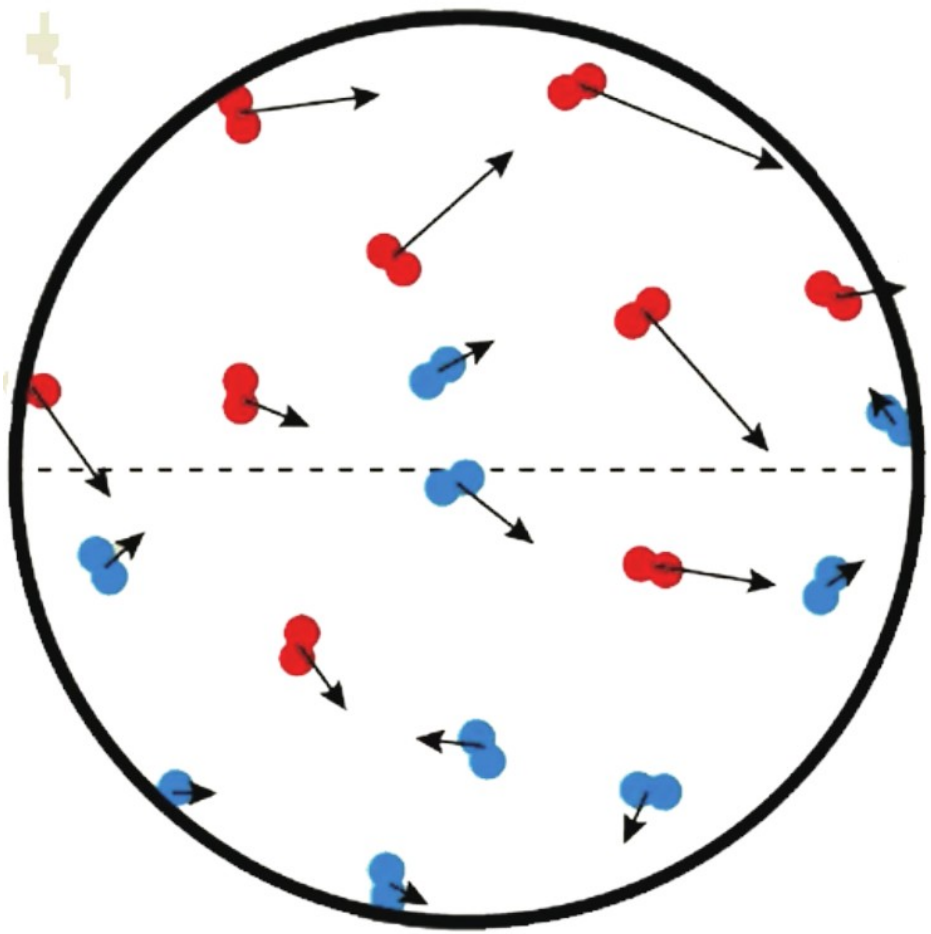
管流法、落球法、旋转法、工业黏度计

1.5　流体的黏性和牛顿内摩擦定律

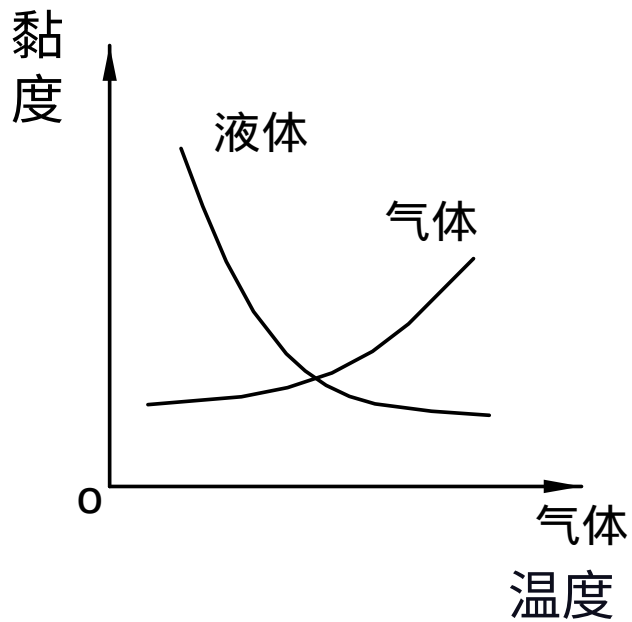
3. 黏度的影响因素

温度对流体黏度的影响规律？为什么这样？





1.5 流体的黏性和牛顿内摩擦定律



3. 黏度的影响因素

➢**温度**对流体黏度的影响很大

液体：分子内聚力是产生黏度的主要因素。

温度↑ → 分子间距↑ → 分子吸引力↓ → 内摩擦力↓ →黏度↓

气体：分子热运动引起的动量交换是产生黏度的主要因素。

温度↑ → 分子热运动↑ → 动量交换↑ → 内摩擦力↑ →黏度↑

➢**压力**对流体黏度的影响不大，一般忽略不计

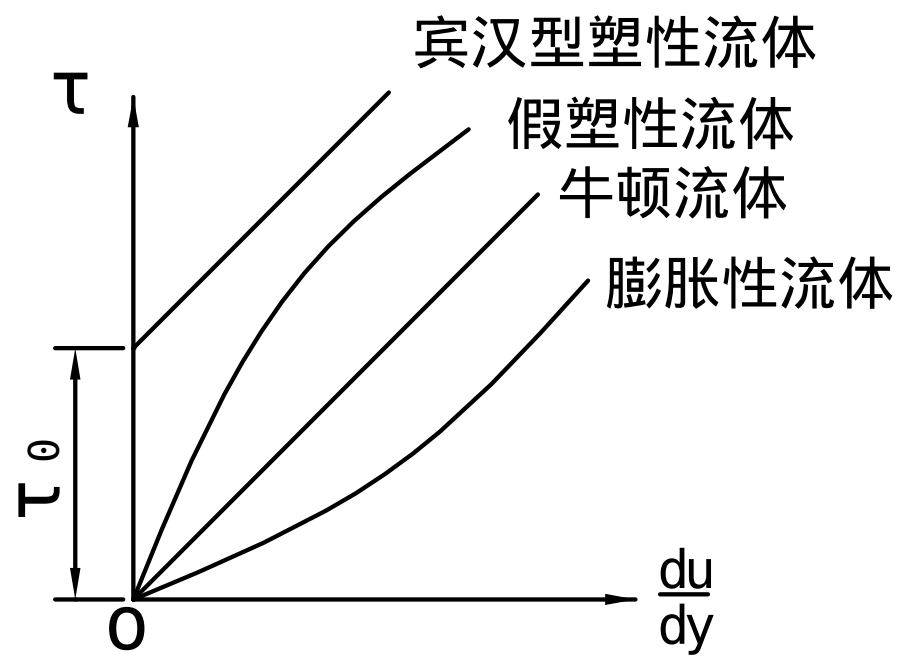
1.5　流体的黏性和牛顿内摩擦定律

4、黏性流体和理想流体

黏性流体　具有黏性的流体（$\mu \neq 0$）

理想流体　忽略黏性的流体（$\mu = 0$）——理想的流体模型

5、牛顿流体和非牛顿流体



牛顿流体

符合牛顿内摩擦定律的流体

如水、空气、汽油和水银等

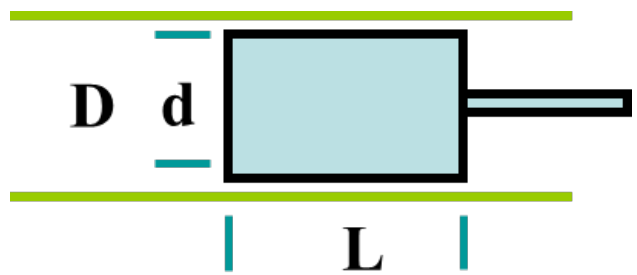
非牛顿流体

不符合牛顿内摩擦定律的流体

如泥浆、血浆、新拌水泥砂浆、新拌混凝土等。

1.5 流体的黏性和牛顿内摩擦定律

例 1：汽缸内壁的直径 $D=12cm$，活塞的直径 $d=11.96cm$，活塞长度 $L=14cm$，活塞往复运动的速度为 $1m/s$，润滑油的 $\mu=0.1Pa\cdot s$。求作用在活塞上的黏性力。



解： $T = A\mu\dfrac{du}{dy}$

$$A = \pi dL = \pi \times 0.1196 \times 0.14 = 0.053m^2$$

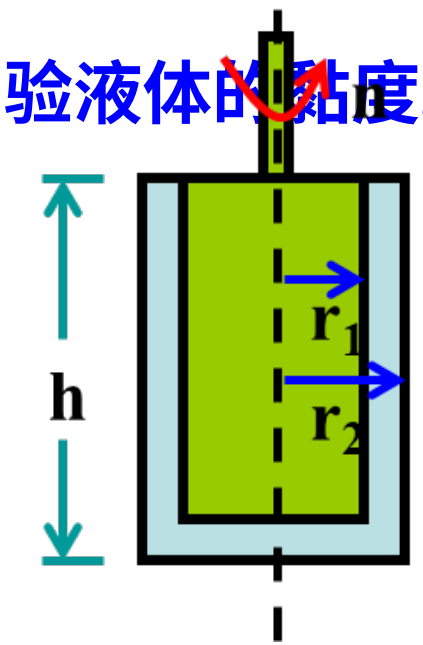
$$\frac{du}{dy}$$

$$T = 0.053 \times 0.1 \times 5 \times 10^3 = 26.5N$$

注意：面积、速度梯度的取法

1.5 流体的黏性和牛顿内摩擦定律

例 2：旋转圆筒黏度计，外筒固定，内筒转速 n=10r/min。内外筒间充入实验液体。内筒 r_1=1.93cm，外筒 r_2=2cm，内筒高 h=7cm，转轴上扭距 M=0.0045N·m。求该实验液体的黏度。



解：$\tau = \mu \dfrac{du}{dy} = \mu \dfrac{\omega r_1 - 0}{r_2 - r_1}$

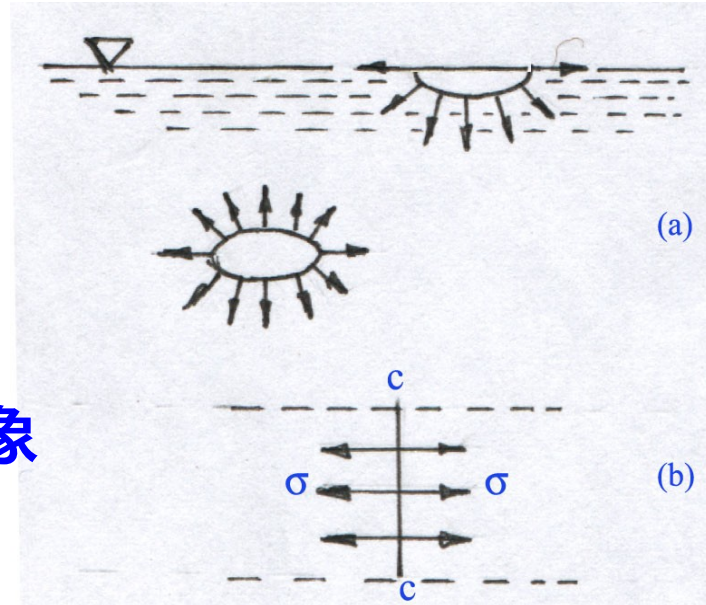
$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$M = \tau A r_1 = \tau \cdot 2\pi r_1 h \cdot r_1 = 0.0045$$

得 $\mu = 0.952 Pa \cdot s$

注意：1. 面积 A 的取法；
2. 单位统一

1.7 液体的表面张力和毛细现象



1、表面张力

- 水滴悬在水龙头出口而不滴落；
- 细管中的液体自动上升或下降一个高度：毛细管现象
- 铁针浮在液面上而不下沉。

1）影响球

液体分子吸引力的作用范围大约在以 3~4 倍平均分子距为半径的球形范围内，该球形范围称为“影响球”。

2）表面层

厚度小于“影响球”半径的液面下的薄层称为表面层。

3）表面张力

液体表面由于分子引力大于斥力而在表层沿表面方向产生的拉力，单位长度上的这种拉力称为表面拉力。

1.7 液体的表面张力和毛细现象

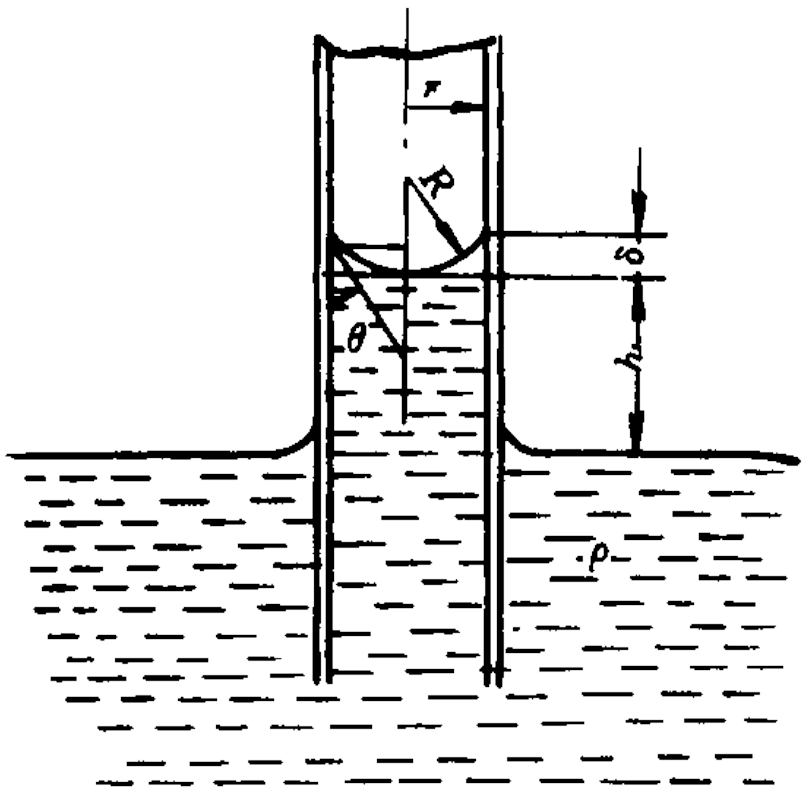
液体分子间的吸引力称为**内聚力**；液体与固体分子之间的吸引力，称为**附着力**。

把细管插入液体内，若液体（如水）的内聚力小于附着力，则液体能够润湿固体，液体将在管内上升一定的高度，管内的液体表面呈凹面；

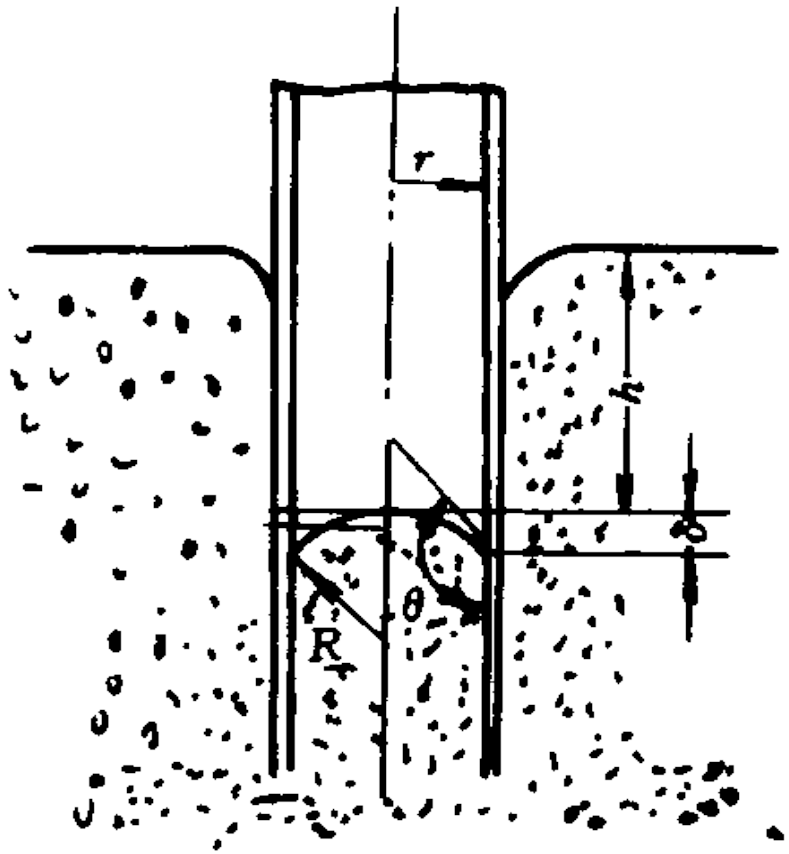
若液体（如水银）的内聚力大于附着力，则液体不能润湿固体，液体将在管内下降一定的高度，管内的液体表面呈凸面。

液体在细管中能上升或下降的现象称为**毛细现象**。

1.7 液体的表面张力和毛细现象

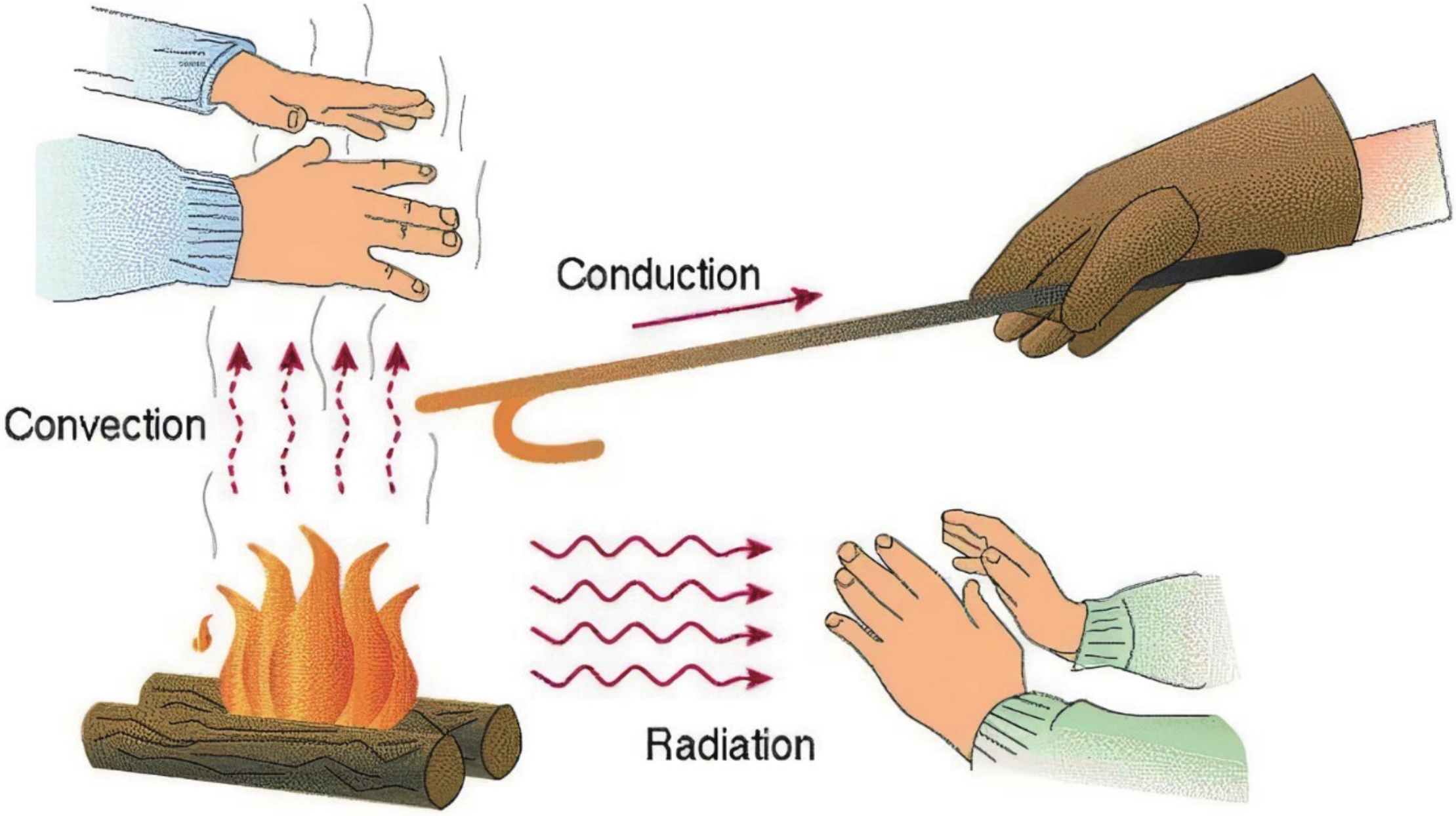


湿润管壁的液体的液面上升



不湿润管壁的液体的液面下降

1.8 流体的输运特性



1.8 流体的输运特性

对流传热方程

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \boldsymbol{u} \cdot \epsilon \nabla T \right] = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + Q.$$

对流扩散方程

$$\frac{\partial C_\sigma}{\partial t} + \boldsymbol{u} \cdot \nabla C_\sigma = \nabla \cdot (D_\sigma \nabla V_\sigma) + R_\sigma.$$

Nernst-Planck 方程

$$\frac{\partial C_\sigma}{\partial t} = \nabla \cdot \left[D_\sigma \nabla C_\sigma - \boldsymbol{u} C_\sigma + \frac{D_\sigma z_\sigma e}{k_B T} C_\sigma \left(\nabla \varphi_e + \frac{\partial A}{\partial t} \right) \right].$$

本章作业

- 1-8
- 1-13
- 1-18
- 1-25

Thanks!

感谢关注 敬请指导

孙东科

www.MesoLab.net

电邮： dksun@seu.edu.cn

东南大学机械工程学院