

传递过程

鲍 博 副教授
华东理工大学 化工学院

2022年秋季

绪论

传递现象？



管道中的流体流动



换热器中的热量交换



吸收塔中的质量传递

传递过程在专业课程体系中的作用和地位

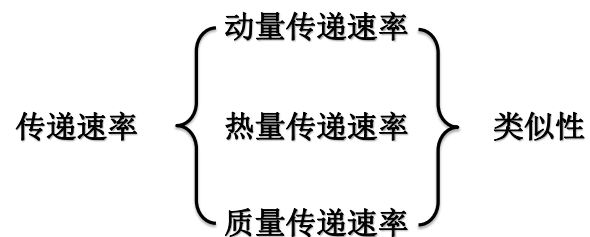


深刻理解《化工原理》单元操作中传递现象的本质；

用科学方法研究动量、热量和质量传递规律，
领悟传递现象的类似性；

用传递过程的视野学习后继专业课程。

传递过程目的和培养目标

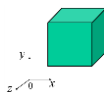


1. 培养学生能够将数学、自然科学、工程基础和专业知用于解决复杂工程问题。
2. 培养学生能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理，识别、表达复杂工程问题。

传递过程学习方法

数学模型

简化具体问题
建立物理模型



根据守恒原理
建立数学模型

$$\rho \frac{Du_x}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X + \mu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right)$$

针对具体问题
简化方程

$$\mu \frac{d^2 u_x}{dy^2} = \frac{dp}{dx}$$

确定初始条件和边界条件，
求解得理论解或数值解

$$\begin{cases} y=0, u_x=0 \\ y=h, u_x=U \end{cases}$$

$$u_x = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} (y^2 - hy) + U \frac{y}{h}$$

第一章 概论

1.1 平衡过程与速率过程

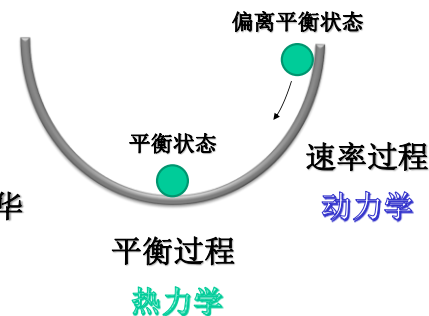
在自然现象中

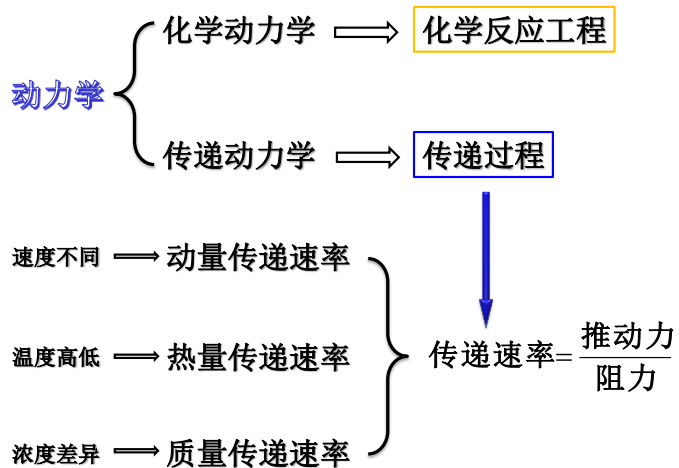
溶解与结晶

汽化与冷凝

升华与凝华

可逆化学反应

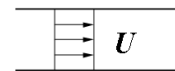




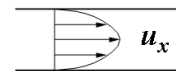
1.2 传递过程特征量

1.2.1 速度与速度分布

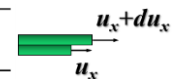
小河流水



均匀流速



速度分布



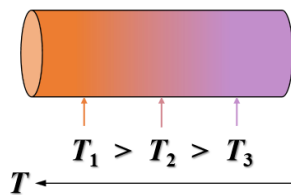
截面平均速度 $U = \frac{\int_A u_x dA}{A} \quad [\text{m/s}]$

体积流率 $V = UA \quad [\text{m}^3/\text{s}]$

质量流率 $W = \rho V \quad [\text{kg/s}]$

1.2.2 温度与温度分布

温度是表示物体冷热程度的物理量，
是分子热运动剧烈程度的宏观表现。



$$0\text{K} = -273.15^\circ\text{C}$$

1.2.3 浓度与浓度分布

浓度是指单位体积混合物中某组分 i 的含量

<p>质量浓度</p> $\rho_i : \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \sum_1^n \rho_i = \rho$ $w_i = \frac{\rho_i}{\rho} \quad \sum_1^n w_i = 1$		<p>摩尔浓度</p> $C_i : \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \quad \sum_1^n C_i = C$ $x_i = \frac{C_i}{C} \quad \sum_1^n x_i = 1$
$\rho_i = M_i C_i$		

对理想气体:

$$C_i = \frac{n_i}{V} = \frac{p_i}{RT} \quad \sum_1^n p_i = p \quad C = \frac{n}{V} = \frac{p}{RT}$$

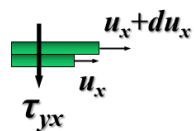
$$y_i = \frac{C_i}{C} = \frac{p_i}{p} \quad \sum_1^n y_i = 1$$

1.2.4 传递通量

单位时间、通过单位面积的传递特征量称：

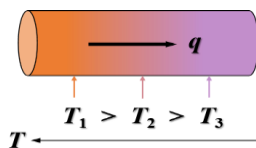
动量通量

$$\tau_{yx} : \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$



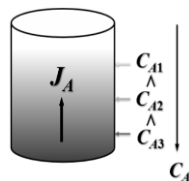
热量通量

$$q : \frac{J}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$



质量通量

$$J_A : \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$



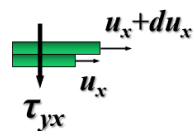
问题探讨： 传递通量方向与特征量方向之间的关系

1.2.4 传递通量

单位时间、通过单位面积的传递特征量称：

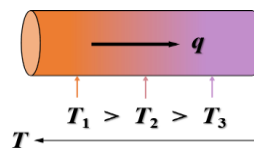
动量通量

$$\tau_{yx} : \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$



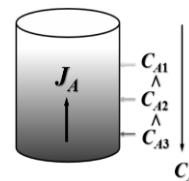
热量通量

$$q : \frac{J}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$



质量通量

$$J_A : \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

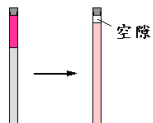


注意： 需要注意的是，作为动量通量， τ_{yx} 的方向总是垂直于流体流动的方向，并指向速度梯度的相反方向；如作为剪切应力， τ_{yx} 与流体流动的方向平行

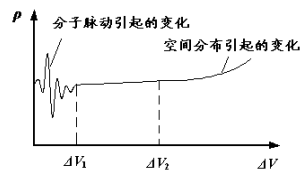
1.3 流体运动

1.3.1 基本假定—连续介质模型

流体内有空隙吗？



微团尺度对密度的影响

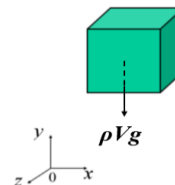


连续介质模型

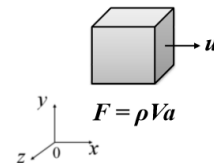
流体微团相对于分子尺度足够大，相对于设备尺度充分小，且连续一片。

1.3.2 流体受力

1.3.2.1 体积力



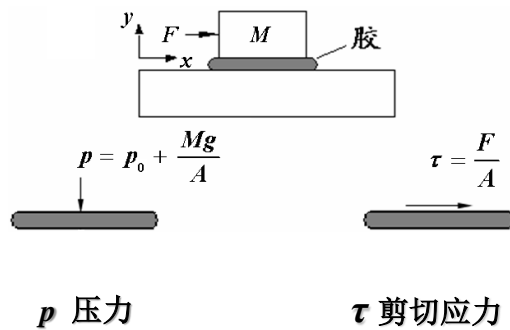
场力



惯性力

问题探讨： 惯性力与速度的关系

1.3.2.2表面力



例1-1 流体静力学平衡定律

静止流体内部

$$p = p_0 + \rho gh$$

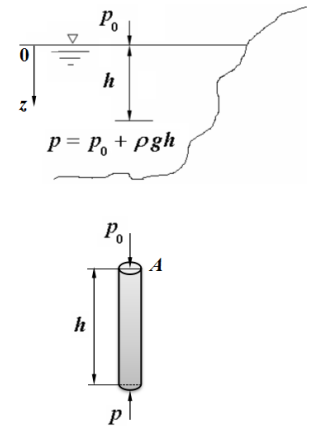
取面积为 A 、长为 h 的控制体

牛顿第一定律: $\Sigma \vec{F}_z = 0$

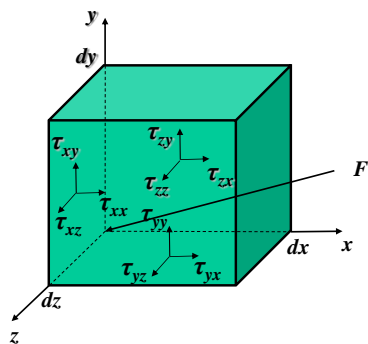
$$p_0 A + \rho h A g - p A = 0$$

$$p = p_0 + \rho gh$$

流体静力学平衡定律

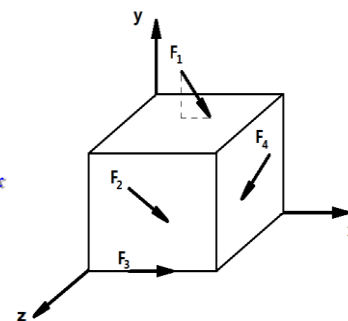


剪切应力 τ :



下标含义: τ_{xy} 是指作用于垂直于 x 轴平面的在 y 方向的剪切应力

例1-2 剪切应力 τ_{yx}



如图所示, 含有剪切应力 τ_{yx} 的是()。

- A. F_1 B. F_2 C. F_3 D. F_4

问题探讨: 剪切应力 τ_{xx} 、 τ_{yy} 、 τ_{zz} 与 p 的关系