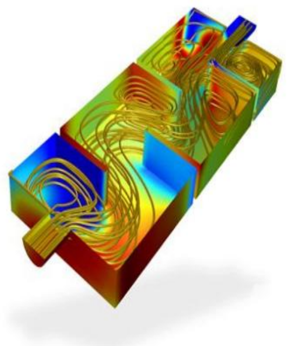


传热学

对流换热II

授课老师：苗雨

目录
CONTENTS

01

课前回顾及导引

课前回顾及导引

1 连续性方程的表达式

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0$$

2 二维流体（x，y方向）的动量守恒方程

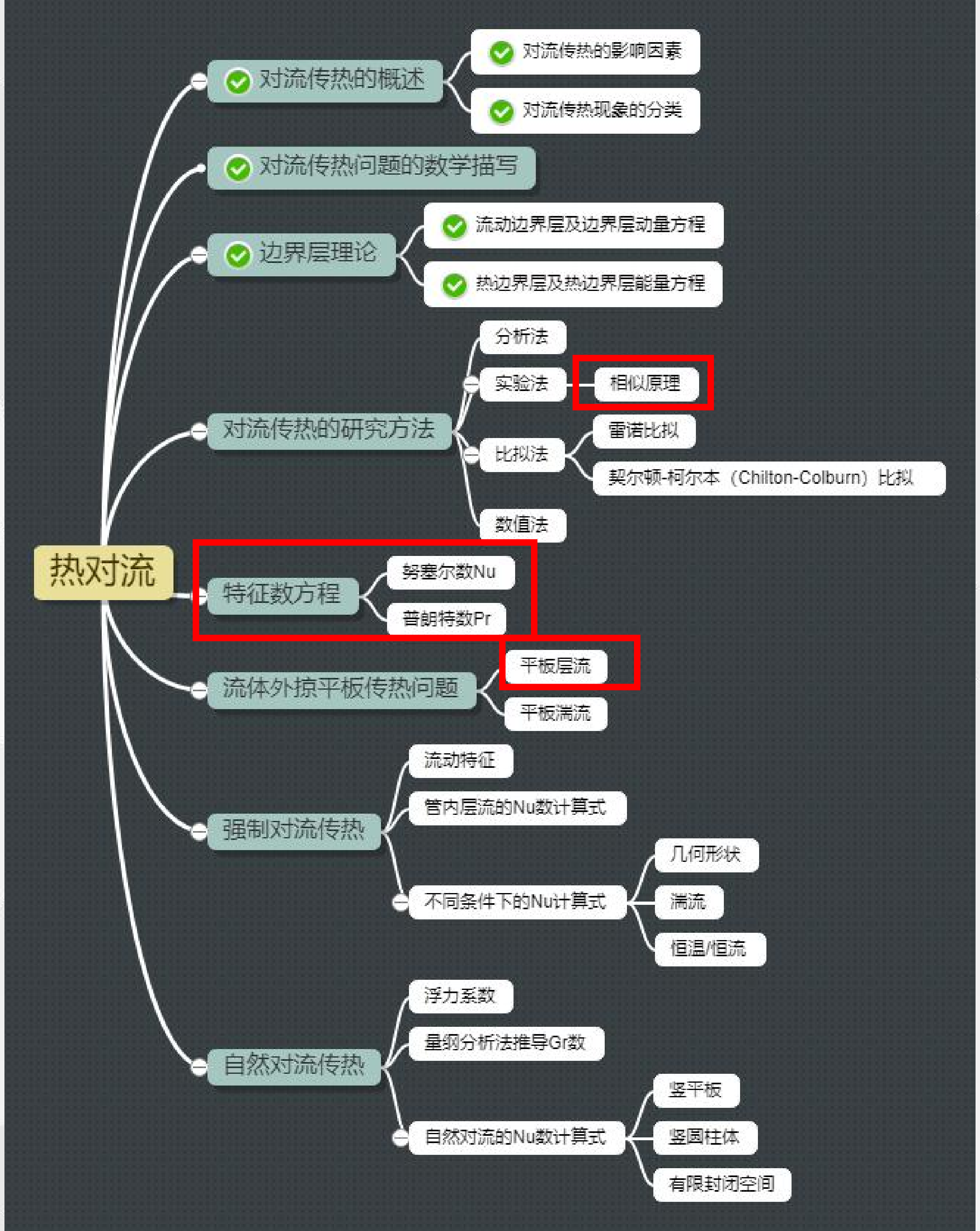
$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial \tau}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=F_x-\frac{\partial p}{\partial x}+\eta\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial \tau}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=F_y-\frac{\partial p}{\partial y}+\eta\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$

3 二维、常物性、不可压缩、无内热源的能量守恒方程

$$\rho c_p\left(u\frac{\partial t}{\partial x}+v\frac{\partial t}{\partial y}+\frac{\partial t}{\partial \tau}\right)=\lambda\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$$

课前回顾及导引

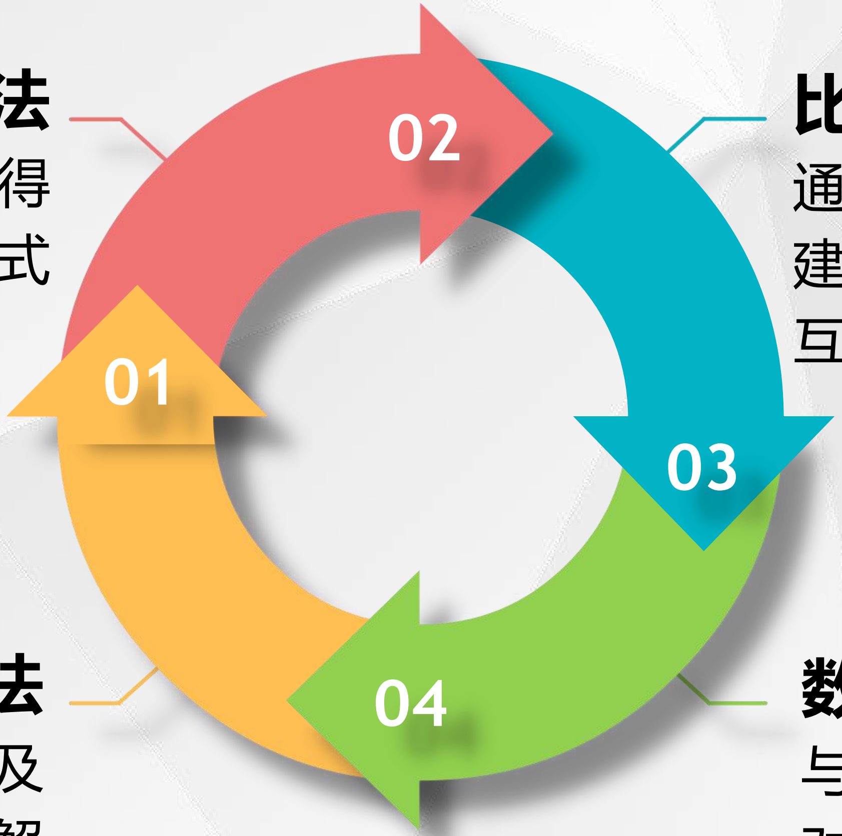


热对流
对流传热的概述
对流传热的影响因素
对流传热现象的分类
对流传热问题的数学描写
边界层理论
流动边界层及边界层动量方程
热边界层及热边界层能量方程
对流传热的研究方法
分析法
实验法
相似原理
比拟法
雷诺比拟
契尔顿-柯尔本（Chilton-Colburn）比拟
数值法
特征数方程
努塞尔数Nu
普朗特数Pr
流体外掠平板传热问题
平板层流
平板湍流
强制对流传热
流动特征
管内层流的Nu数计算式
不同条件下的Nu计算式
几何形状
湍流
恒温/恒流
自然对流传热
浮力系数
量纲分析法推导Gr数
自然对流的Nu数计算式
竖平板
竖圆柱体
有限封闭空间

02

对流传热研究方法

对流传热研究方法



实验法

通过**相似原理**指导下的实验研究获得表面传热系数关系式

比拟法

通过研究动量传递及热量传递的**共性**，建立表面传热系数与阻力系数间的相互关系

分析法

通过对流传热问题的**偏微分方程**及相应的**定解条件**进行数学求解速度场和温度场的分析解

数值法

与导热问题的数值求解方式类似，但对流项的离散以及动量方程中的压力梯度项的数值处理为难点

03

对流传热无量纲数

- 普朗特数
- 努塞尔数

普朗特数Pr

- 流体力学无量纲数
- 表示**运动粘度**和**热扩散率**的比例
- **动量传输**及**热量传输速率**的比例

定义

运动粘度　　动力粘度

$$Pr=\frac{\nu}{\alpha}=\frac{\frac{\eta}{\rho}}{\frac{\lambda}{\rho c_p}}=\frac{\eta c_p}{\lambda}$$

计算公式

影响因素

普朗特数Pr只和**流体及其状态**有关。

效果

- 控制**动量边界层及热边界层的相对厚度**。
- Pr小表示热扩散速率会比速度扩散速率要快
  - Pr=1，$\delta=\delta_t$，比如空气
  - Pr>1，$\delta>\delta_t$，比如高粘度油
  - Pr<1，$\delta<\delta_t$，比如液态金属

努塞尔数Nu

- 流体力学以及传热学的无量纲数
- 表示对流换热强烈程度

$$Nu = \frac{hl_c}{\lambda}$$

l_c为传热面的几何特征长度，垂直于传热面方向，比如

- 热管的直径
- 传热平板的厚度

在形式上与Bi数完全相同，但两者却有着根本上的区别

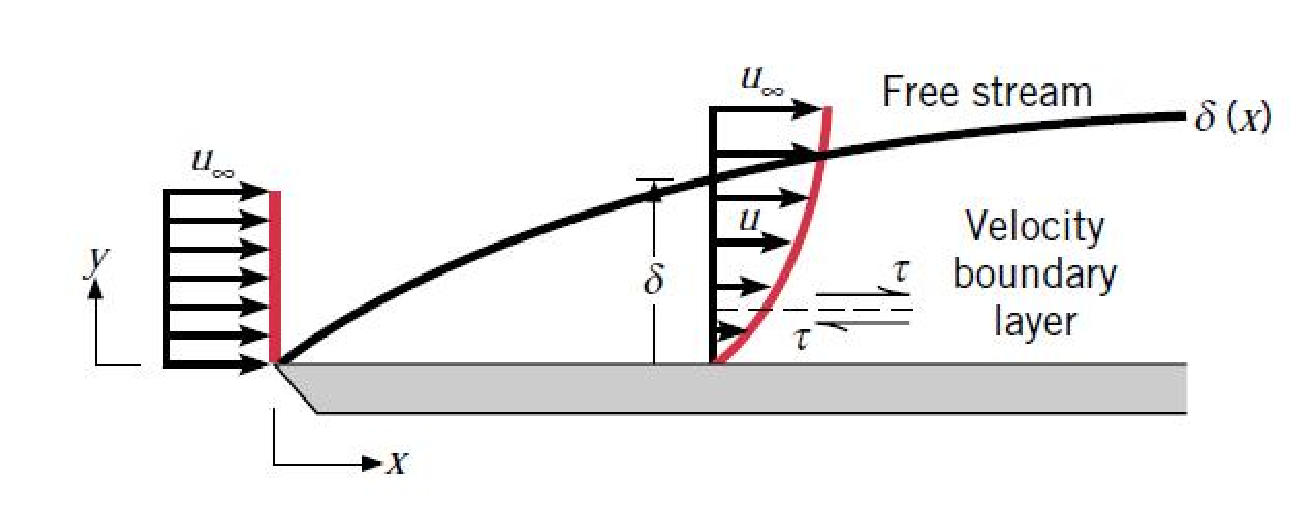
努赛尔数Nu	毕渥数Bi
λ是流体的导热系数	λ是导热物体的导热系数
h一般未知	h一般已知
是待求解的无量纲数	是已经确定的无量纲数
表示壁面流体的温度梯度	表示内部导热热阻与外部对流热阻的相对大小

04

流体外掠平板层流传热问题

- 离开前缘x处的边界层厚度δ/x
- 范宁局部摩擦系数C_f
- 流动边界层与热边界层厚度之比δ/δ_t
- 局部表面传热系数h_x
- 特征数方程

离开前缘x处的边界层厚度δ/x



$$@y=0,\ u=0$$

$$@y=0,\ \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}=0 \quad \text{恒压条件}$$

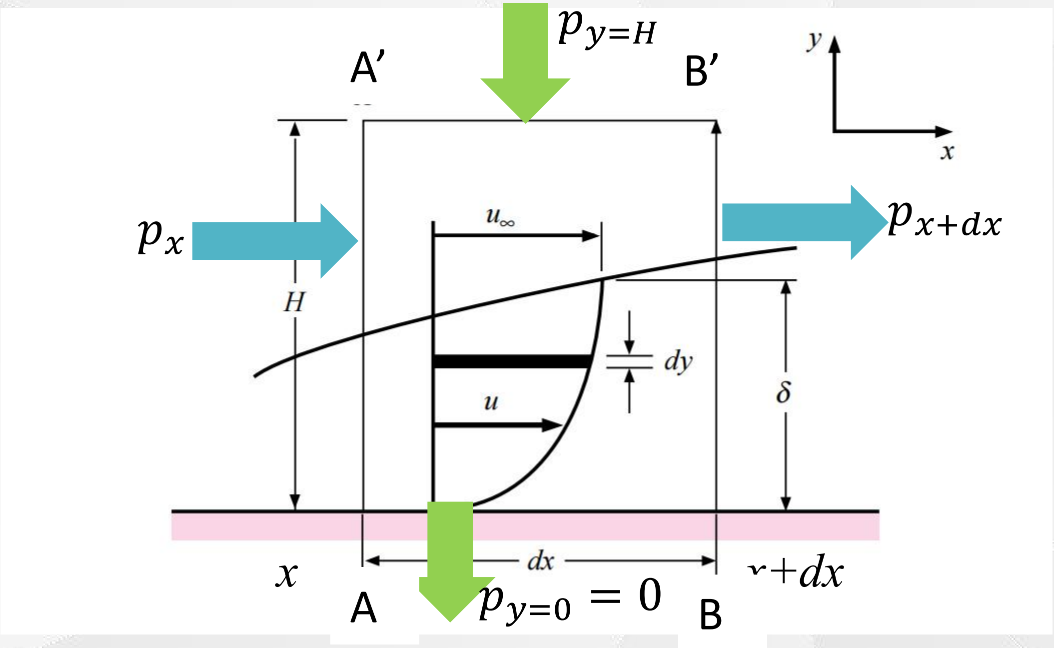
$$@y=\delta,\ u=u_\infty$$

$$@y=\delta,\ \frac{\partial u}{\partial y}=0$$

能够同时满足这四个边界条件的函数 $u=C_1+C_2y+C_3y^2+C_4y^3$

$$\boxed{\frac{u}{u_\infty}=\frac{3}{2}\frac{y}{\delta}-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3}$$

离开前缘x处的边界层厚度δ/x



微元体净动量 = **剪应力产生的冲量** + **压力梯度**

$$p_{x+dx}+\cancel{p_{y=0}}-p_x-p_{y=H}$$

0

$$\tau_w dx=\mu\frac{du}{dy}\Big|_{y=0}dx$$

$$\cancel{\frac{dp}{dx}Hdx}$$

0

$$\frac{d}{dx}\left(\int_0^\delta \rho u(u-u_\infty)dy\right)\mathrm{dx}$$

代入得

$$\boxed{\frac{d}{dx}\left(\int_0^\delta \rho u(u-u_\infty)dy\right)\mathrm{dx}=\mu\frac{du}{dy}\Big|_{y=0}dx}$$

离开前缘x处的边界层厚度δ/x

$$\frac{u}{u_\infty}=\frac{3}{2}\frac{y}{\delta}-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3$$

$$\frac{d}{dx}\left(\int_0^\delta \rho u(u-u_\infty)dy\right)\mathrm{dx}=\mu\frac{du}{dy}\bigg|_{y=0}dx$$

$$\delta d\delta=\frac{140}{13}\frac{\mu}{\rho u_\infty}dx$$

$$@x=0,\ \delta=0$$

$$\boxed{\frac{\delta}{x}=4.64\sqrt{\frac{\mu}{\rho u_\infty x}}\approx 5.0\sqrt{\frac{\mu}{\rho u_\infty x}}=\frac{5.0}{\sqrt{Re_x}}}$$

δ为离开前缘x处的边界层厚度

Re_x为以x为特征长度的雷诺数

范宁局部摩擦系数C_f

C_f为范宁局部摩擦系数，无量纲数

施加在壁面上的剪应力 $\tau_w = C_f \frac{\rho u_\infty^2}{2}$

$$\tau_w = \mu \frac{du}{dy}\bigg|_{y=0}$$

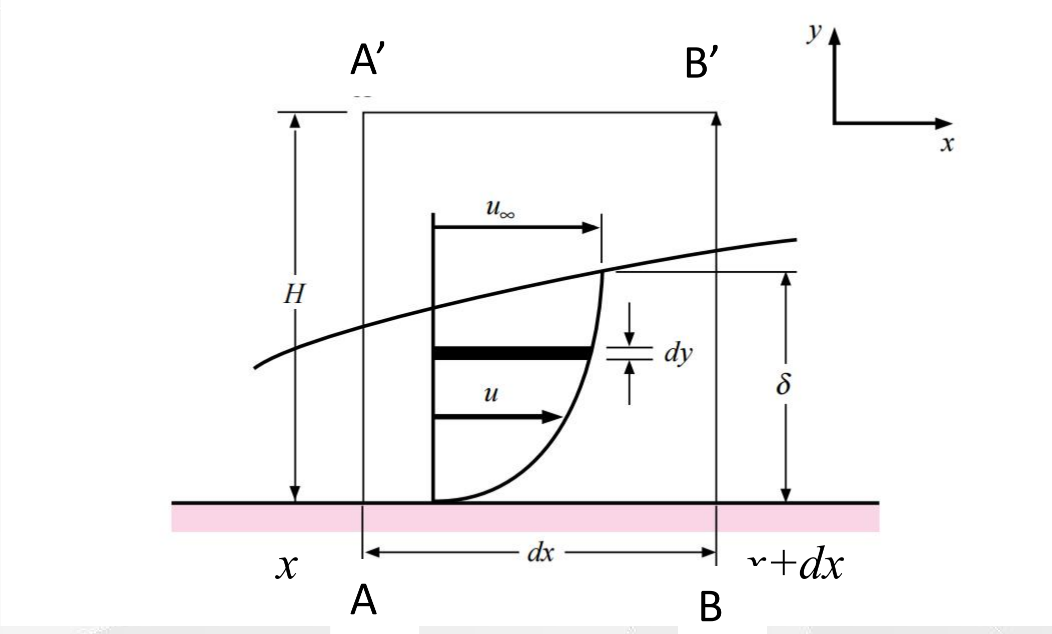
由之前δ/x推导得到 $\frac{u}{u_\infty} = \frac{3}{2}\frac{y}{\delta} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3$

$$\frac{\delta}{x} = 4.64\sqrt{\frac{\nu x}{u_\infty}}$$

$$\tau_w = \frac{3}{2}\frac{\mu u_\infty}{4.64}\sqrt{\frac{u_\infty}{\nu x}}$$

$$\boxed{C_f = \frac{0.664}{\sqrt{Re_x}}}$$

流动边界层与热边界层厚度之比δ/δ_t



流体外掠平板的能量守恒：

进入微元体的能量 + 粘性力做功 + 通过平板的导热 = 离开微元体的能量

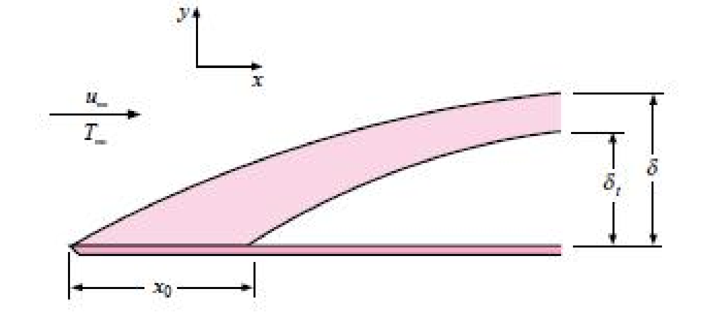
$$E_{in} = E_{x,in} + E_{y,in} = \rho c_p \int_0^H utdy + c_p t_\infty \frac{d}{dx}\left(\int_0^H \rho udy\right) dx$$

$$E_\mu = \mu\left[\int_0^H \left(\frac{du}{dy}\right)^2 dy\right] dx$$

$$E_\lambda = -\lambda dx \frac{\partial t}{\partial y}\bigg|_w$$

$$E_{out} = E_{x,out} + E_{y,out} = \rho c_p \int_0^H utdy + \frac{d}{dx}\left(\rho c_p \int_0^H utdy\right) dx + 0$$

流动边界层与热边界层厚度之比δ/δt



代入化简得到 $$\frac{d}{dx}\left[\int_0^H (t_\infty - t)u\,dy\right] = \alpha\left.\frac{\partial t}{\partial y}\right|_w$$

与边界层厚度相似

壁面：　$y = 0,\ t = t_w$

$$y = 0, \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0$$

边界层边缘：$y = \delta_t,\ t = t_\infty$

$$y = \delta_t, \frac{\partial t}{\partial y} = 0$$

能够同时满足以下四个边界条件的函数

$$t = C_1 + C_2 y + C_3 y^2 + C_4 y^3$$

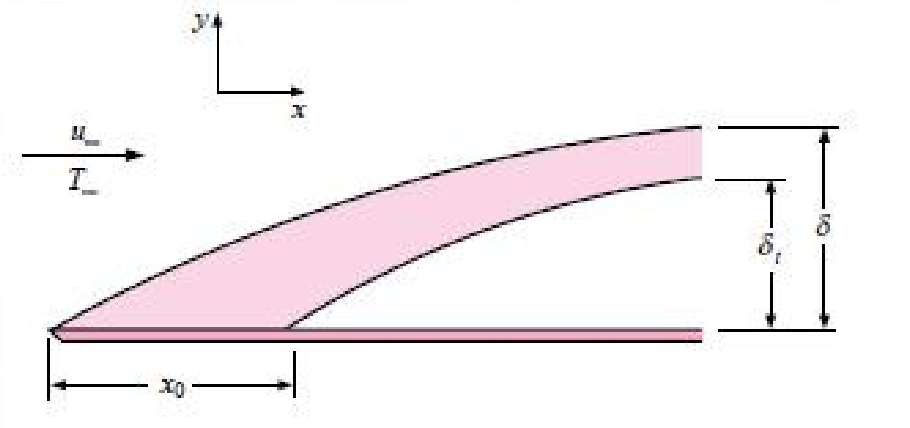
$$\frac{t - t_w}{t_\infty - t_w} = \frac{3}{2}\frac{y}{\delta_t} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta_t}\right)^3$$

由之前δ/x推导得到 $$\frac{u}{u_\infty} = \frac{3}{2}\frac{y}{\delta} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3$$

$$x_0 = 0, \frac{\delta_t}{\delta} = \frac{1}{1.026}Pr^{-1/3}$$

$$\boxed{\frac{\delta_t}{\delta} \sim Pr^{-1/3}}$$

局部表面传热系数h_x



平板表面的对流换热热量 = 导入到流体中的热量

$$h(t_w - t_\infty) = -\lambda \frac{dt}{dy}$$

由之前δ/x推导得到 $$\frac{t - t_w}{t_\infty - t_w} = \frac{3}{2}\frac{y}{\delta_t} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta_t}\right)^3$$

$$\frac{\delta}{x} = \frac{4.64}{\sqrt{Re_x}}$$

由之前δ/δ$_t$推导得到 $$x_0 = 0, \frac{\delta_t}{\delta} = \frac{1}{1.026} Pr^{-1/3}$$

$$\boxed{x_0 = 0, h_x = 0.332\frac{\lambda}{x} Re_x^{1/2} Pr^{1/3}}$$

流体外掠平板层流传热问题

- 离开前缘x处的边界层厚度δ/x

$$\frac{\delta}{x} = 4.64\sqrt{\frac{\mu x}{\rho u_\infty}} \approx \frac{5.0}{\sqrt{Re_x}}$$

- 范宁局部摩擦系数C_f

$$C_f = \frac{0.664}{\sqrt{Re_x}}$$

- 流动边界层与热边界层厚度之比δ/δ_t

$$x_0 = 0, \frac{\delta_t}{\delta} = \frac{1}{1.026} Pr^{-1/3}$$

- 局部表面传热系数h_x

$$x_0 = 0, h_x = 0.332\frac{\lambda}{x} Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$$

特征数方程

在推导局部表面传热系数时，$h_x = 0.332\frac{\lambda}{x}Re_x^{1/2}Pr^{1/3}$

$$Nu_x = \frac{h_x x}{\lambda} = 0.332Re_x^{1/2}Pr^{1/3}$$

1 以特征数表示的对流传热计算关系式称为特征数方程，又称关联式或准则方程

2 为了得到整个平板的传热表面系数，可以采用沿长度0到l做积分

$$Nu_l = 0.664Re_l^{1/2}Pr^{1/3}$$

3 由于流体的物理性质都与温度有关，当需要通过温度确定流体物性时，需要使用定性温度

4 对于边界层类型的对流传热，定性温度为边界层中流体的平均温度

$$t_m = \frac{t_w + t_\infty}{2}$$

特征数方程

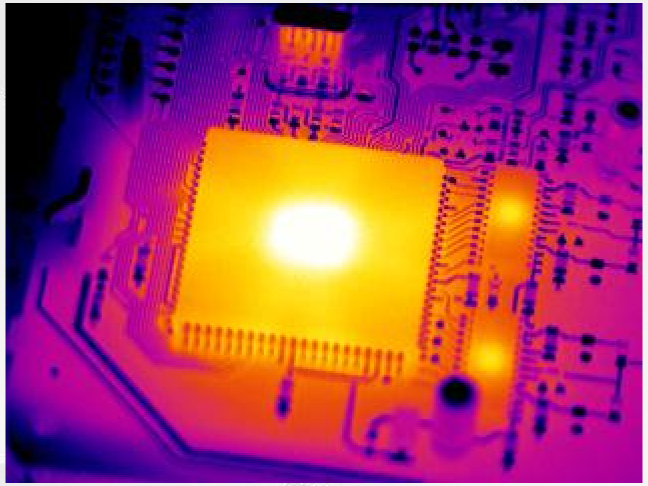
Nu可以用Re和Pr来表达，不同工况的表达式皆不同

Geometry	Equation	Restrictions
Tube flow	$\mathrm{Nu}_d = 0.023\,\mathrm{Re}_d^{0.8}\mathrm{Pr}^n$	Fully developed turbulent flow, $n = 0.4$ for heating, $n = 0.3$ for cooling, $0.6 < \mathrm{Pr} < 100$, $2500 < \mathrm{Re}_d < 1.25\times10^5$
Tube flow	$\mathrm{Nu}_d = 0.0214(\mathrm{Re}_d^{0.8} - 100)\mathrm{Pr}^{0.4}$	$0.5 < \mathrm{Pr} < 1.5$, $10^4 < \mathrm{Re}_d < 5\times10^6$
	$\mathrm{Nu}_d = 0.012(\mathrm{Re}_d^{0.87} - 280)\mathrm{Pr}^{0.4}$	$1.5 < \mathrm{Pr} < 500$, $3000 < \mathrm{Re}_d < 10^6$
Tube flow	$\mathrm{Nu}_d = 0.027\,\mathrm{Re}_d^{0.8}\mathrm{Pr}^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$	Fully developed turbulent flow
Tube flow	$\mathrm{Nu}_d = 3.66 + \frac{0.0668(d/L)\,\mathrm{Re}_d\mathrm{Pr}}{1+0.04[(d/L)\,\mathrm{Re}_d\mathrm{Pr}]^{2/3}}$	Laminar, $T_w = \text{const}$
Tube flow	$\mathrm{Nu}_d = 1.86(\mathrm{Re}_d\mathrm{Pr})^{1/3}\left(\frac{d}{L}\right)^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$	Fully developed laminar flow,

Flow regime	Restrictions	Equation
Laminar, local	$T_w = \text{const}$, $\mathrm{Re}_x < 5\times10^5$, $0.6 < \mathrm{Pr} < 50$	$\mathrm{Nu}_x = 0.332\,\mathrm{Pr}^{1/3}\mathrm{Re}_x^{1/2}$
Laminar, local	$T_w = \text{const}$, $\mathrm{Re}_x < 5\times10^5$, $\mathrm{Re}_x\,\mathrm{Pr} > 100$	$\mathrm{Nu}_x = \frac{0.3387\,\mathrm{Re}_x^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3}}{\left[1+\left(\frac{0.0468}{\mathrm{Pr}}\right)^{2/3}\right]^{1/4}}$
Laminar, local	$q_w = \text{const}$, $\mathrm{Re}_x < 5\times10^5$, $0.6 < \mathrm{Pr} < 50$	$\mathrm{Nu}_x = 0.453\,\mathrm{Re}_x^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3}$
Laminar, local	$q_w = \text{const}$, $\mathrm{Re}_x < 5\times10^5$	$\mathrm{Nu}_x = \frac{0.4637\,\mathrm{Re}_x^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3}}{\left[1+\left(\frac{0.0207}{\mathrm{Pr}}\right)^{2/3}\right]^{1/4}}$
Laminar, average	$\mathrm{Re}_L < 5\times10^5$, $T_w = \text{const}$	$\overline{\mathrm{Nu}}_L = 2\,\mathrm{Nu}_{x=L} = 0.664\,\mathrm{Re}_L^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3}$
Laminar, local	$T_w = \text{const}$, $\mathrm{Re}_x < 5\times10^5$, $\mathrm{Pr} \ll 1$ (liquid metals)	$\mathrm{Nu}_x = 0.564(\mathrm{Re}_x\,\mathrm{Pr})^{1/2}$
Laminar, local	$T_w = \text{const}$, starting at $x = x_0$, $\mathrm{Re}_x < 5\times10^5$, $0.6 < \mathrm{Pr} < 50$	$\mathrm{Nu}_x = 0.332\,\mathrm{Pr}^{1/3}\,\mathrm{Re}_x^{1/2}\left[1-\left(\frac{x_0}{x}\right)^{3/4}\right]^{-1/3}$

流体外掠平板层流传热问题

例题3：印制电路板时需要一个热扩散板，该板长600mm，宽400mm。速度3m/s、温度40℃、压强70kPa的空气吹过热扩散板顶部。如果热扩散板的最大允许工作温度是100℃，确定距离电路板前缘200mm和400mm处允许的最大热流密度，以及整个散热板允许的最大散热量。假设空气时理想气体，空气在70℃和101.3kPa下的密度 $1.0289 kg/m^3$，动力粘度 $2.051\times10^{-5} kg/m\cdot s$，Pr=0.7101，$\lambda=0.0292 W/m\cdot℃$。



05

相似原理

- 为什么要用相似原理?
- 物理现象相似定义
- 相似原理基本内容
- 相似分析法推导相似特征数
- 量纲分析法推导相似特征数

为什么要用相似原理?

实验变量多

实验结果需要进一步推广

实物实验无法开展

$$h = f\left(\underset{\text{速度}}{u}, \overset{\text{几何尺度}}{l}, \underset{\text{密度}}{\rho}, \overset{\text{动力粘性}}{\eta}, \underset{\text{导热系数}}{\lambda}, \overset{\text{比热容}}{c_p}, \underset{\text{相变潜热}}{r}, \overset{\text{温度}}{t_m}\right)$$

- 实验中应测哪些量
- 是否所有的物理量都测
- 实验数据如何整理
- 整理成什么样函数关系

- 实验的任务量过于庞大
- 重复实验成本太高

物理现象相似定义

01

只有同类现象才能谈论相似问题

02

与现象有关的物理量要一一对应成比例

03

对非稳态问题，要求在相应的时刻各物理量的空间分布相似

相似原理基本内容

01 凡是彼此相似的现象，同名相似特征数相等

以流体与固体表面间的对流传热现象为例，

$$h\left(t_w - t_f\right) = -\lambda\left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)_{y=0}$$

$$h\left(t_w - t_f\right)l = -\lambda l\left(\frac{\partial t}{\partial y}\right)_{y=0} \Rightarrow \frac{hl}{\lambda} = \left.\frac{\partial\left(\frac{t_w - t}{t_w - t_f}\right)}{\partial\left(\frac{y}{l}\right)}\right|_{y=0} \Rightarrow \left(\frac{hl}{\lambda}\right)_1 = \left(\frac{hl}{\lambda}\right)_2$$

$$Nu_1 = Nu_2$$

02 同一类现象中相似特征数的数量由π 定理规定

π 定理：一个表示n个物理量间关系的的量纲一致的方程式，一定可以转换成包含n-r个独立的无量纲物理量群间的关系式

r是n个物理量中所涉及的基本量的数目

量纲分析法推导相似特征数

步骤1 找出组成与研究问题有关的各物理量量纲中的基本量的量纲

以单相介质管内对流传热为例，

$$h = f(u, d, \lambda, \eta, \rho, c_p)$$

- 7个物理量，量纲均由4个基本量量纲（时间量纲T，长度量纲L，质量量纲M和温度量纲$\boldsymbol{\Theta}$）组成，即π 定理内容的n=7，r=4，所以可以组成（7-4=3）个无量纲量
- 选定4个物理量（u, d, λ, η）作为基本物理量，其量纲必须包括上述四个基本量的量纲

$$\dim u = LT^{-1} \qquad \dim d = L \qquad \dim \lambda = ML\Theta^{-1}T^{-3} \qquad \dim \eta = ML^{-1}T^{-1}$$

其余三个物理量的量纲

$$\dim h = M\Theta^{-1}T^{-3} \qquad \dim \rho = ML^{-3} \qquad \dim c_p = L^2\Theta^{-1}T^{-2}$$

量纲分析法推导相似特征数

步骤2 将基本量逐一与其余各量组成无量纲量

无量纲量采用物理量的幂指数形式表示，指数值待定，用π_1, π_2, π_3表示无量纲量

$$\pi_1 = hu^{a_1}d^{b_1}\lambda^{c_1}\eta^{d_1}$$

$$\pi_2 = \rho u^{a_2}d^{b_2}\lambda^{c_2}\eta^{d_2}$$

$$\pi_3 = c_p u^{a_3}d^{b_3}\lambda^{c_3}\eta^{d_3}$$

量纲分析法推导相似特征数

步骤3 应用量纲和谐原理来决定待定指数

$\dim u = LT^{-1}$ $\dim d = L$ $\dim \lambda = ML\Theta^{-1}T^{-3}$ $\dim \eta = ML^{-1}T^{-1}$ $\dim h = M\Theta^{-1}T^{-3}$

将量纲相同的项合并到一起 $\dim \pi_1 = L^{a_1+b_1+c_1-d_1}M^{c_1+d_1+1}\Theta^{-c_1-1}T^{-a_1-3c_1-d_1-3}$

$\dim u = LT^{-1}$ $\dim d = L$ $\dim \lambda = ML\Theta^{-1}T^{-3}$ $\dim \eta = ML^{-1}T^{-1}$ $\dim \rho = ML^{-3}$

将量纲相同的项合并到一起 $\dim \pi_2 = L^{a_1+b_1+c_1-d_1-3}M^{c_1+d_1+1}\Theta^{-c_1}T^{-a_1-3c_1-d_1}$

$\dim u = LT^{-1}$ $\dim d = L$ $\dim \lambda = ML\Theta^{-1}T^{-3}$ $\dim \eta = ML^{-1}T^{-1}$ $\dim c_p = L^2\Theta^{-1}T^{-2}$

将量纲相同的项合并到一起 $\dim \pi_3 = L^{a_1+b_1+c_1-d_1+2}M^{c_1+d_1}\Theta^{-c_1-1}T^{-a_1-3c_1-d_1-2}$

量纲分析法推导相似特征数

步骤3 应用量纲和谐原理来决定待定指数

因为π_1, π_2, π_3为无量纲量，根据量纲和谐原理，各量纲的指数必为零

$$\pi_1\begin{cases} a_1+b_1+c_1-d_1=0 \\ c_1+d_1+1=0 \\ -c_1-1=0 \\ -a_1-3c_1-d_1-3=0 \end{cases} \quad \pi_2\begin{cases} a_1+b_1+c_1-d_1-3=0 \\ c_1+d_1+1=0 \\ -c_1=0 \\ -a_1-3c_1-d_1=0 \end{cases} \quad \pi_3\begin{cases} a_1+b_1+c_1-d_1+2=0 \\ c_1+d_1=0 \\ -c_1-1=0 \\ -a_1-3c_1-d_1-2=0 \end{cases}$$

$a_1=0$，$b_1=1$，$c_1=-1$，$d_1=0$ $\quad$ $a_1=1$，$b_1=1$，$c_1=0$，$d_1=-1$ $\quad$ $a_1=0$，$b_1=0$，$c_1=-1$，$d_1=1$

$$\pi_1=hu^0d^1\lambda^{-1}\eta^0=\frac{hd}{\lambda}=\boldsymbol{Nu} \quad \pi_2=\rho u^1d^1\lambda^0\eta^{-1}=\frac{\rho ud}{\eta}=\boldsymbol{Re} \quad \pi_3=c_pu^0d^0\lambda^{-1}\eta^1=\frac{c_p\eta}{\lambda}=\boldsymbol{Pr}$$

相似原理基本内容

03

两个同类物理现象相似的充要条件

- **同名的已定特征数相等**
- **单值性条件相似**

已定特征数：
由所研究问题的已知量组成的特征数

研究对流传热现象时，
Re数和Pr数是已定特征数，
Nu数是待定特征数

单值性条件：
使所研究的问题能被唯一地确定下来的条件

- 初始条件（稳态问题不需要）
- 边界条件
- 几何条件
- 物理条件

相似分析法推导相似特征数

例题4：一换热设备的工作条件是：壁温t_w=120℃，加热t_f=80℃的空气，空气流速u=0.5m/s。采用一个全盘缩小成原设备1/5的模型来研究它的换热情况。在模型中也对空气加热，空气温度t_f'=10℃，壁面温度t_w'=30℃。试问模型中流速u'应多大才能保证与原设备中的换热现象相似。

预习小测验答案

1.(多选题，1分)
以下哪些是使用相似原理的原因?

A. 实验变量多

B. 实验的任务量过于庞大

C. 重复实验成本太高

D. 实物实验无法开展

答案： ABCD

2.(多选题，1分)
以下关于努塞尔数的描述正确的是?

A. 努塞尔数表达式中的对流传热系数是待定系数

B. 努塞尔数的表达式与毕渥数的表达式相同

C. 努塞尔数表示对流换热强烈程度

D. 努塞尔数是导热热阻与对流传热热阻之比

答案： ABCD

3.(多选题，1分)
以下关于普朗特数的描述错误的是?

A. 普朗特数是动力粘度和热扩散率之比

B. Pr小表示热扩散速率会比速度扩散速率要慢

C. 普朗特数只和流体及其状态有关

D. 普朗特数可以控制动量边界层及热边界层的相对厚度

答案： AB

课后作业

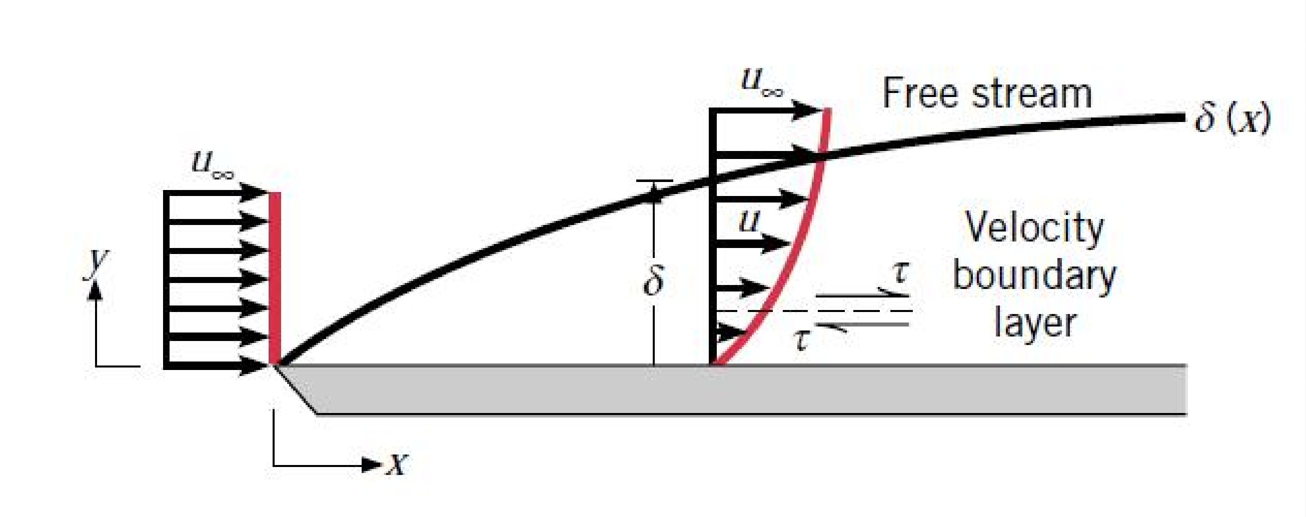
作业1：空气在27℃、1atm气压下以2m/s的流速掠过一平板，试计算：

（1）离开平板前缘20cm和30cm处的流动边界层厚度；

（2）在x=20cm和x=30cm之间进入流动边界层的质量流量；

（3）假设整个平板被加热到60℃，且平板长度为30cm，计算整个平板的散热量。

已知：空气在27℃粘度是1.85×10^{-5}kg/m·s，密度是1.177kg/m^3，z方向取单位长度。



课后作业

作业2：压力为大气压的20℃空气以10m/s的流速掠过一块长400mm、温度为40℃的平板，试计算：

（1）离开平板前缘200mm的流动边界层和热边界层厚度；

（2）局部切应力τ_w和平均阻力系数$\overline{c_f}$。

已知：空气在30℃的运动粘度是$16\times10^{-6}m^2/s$，密度是$1.165kg/m^3$，Pr=0.701，z方向取单位长度。