



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

CMHL COMPUTATIONAL MARINE HYDRODYNAMICS LAB
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

课程：船舶流体力学

主讲人：万德成

章节：第8章 粘性流体力学基本理论

内容：8.5 层流与湍流



上海交通大学

Shanghai Jiao Tong University

层流与湍流

Laminar



Turbulent



Laminar Diffusion



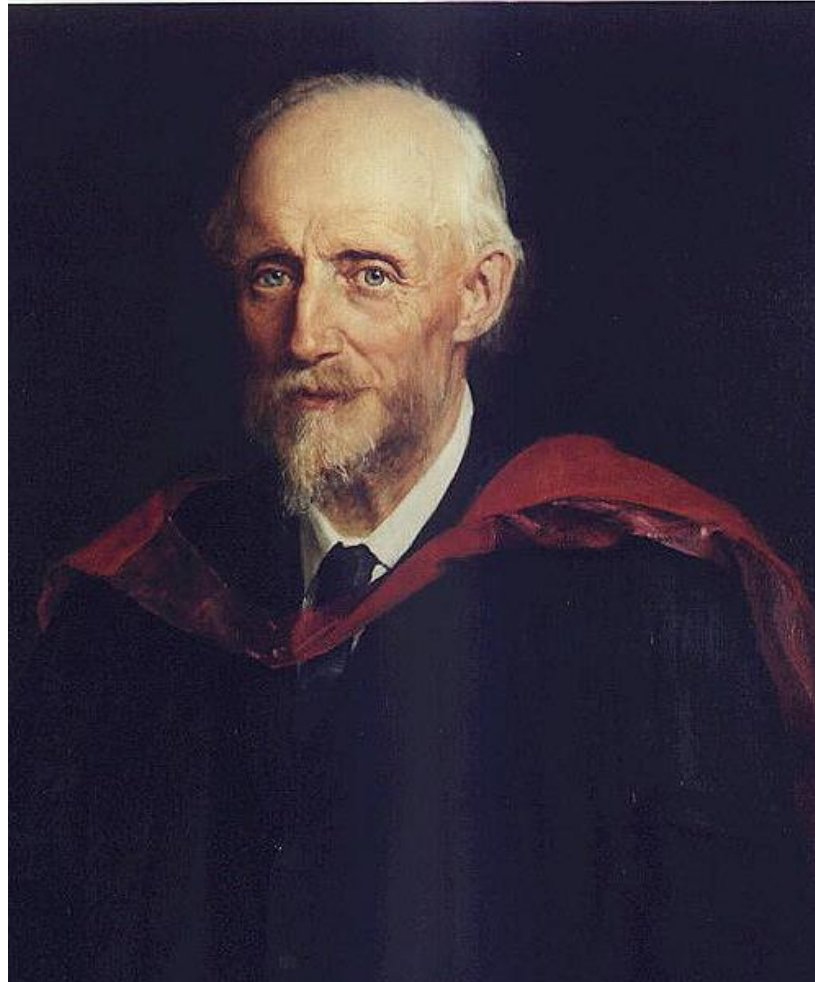
Turbulent Diffusion



上海交通大学

Shanghai Jiao Tong University

层流与湍流



Osborne Reynolds
(1842-1916)



上海交通大学

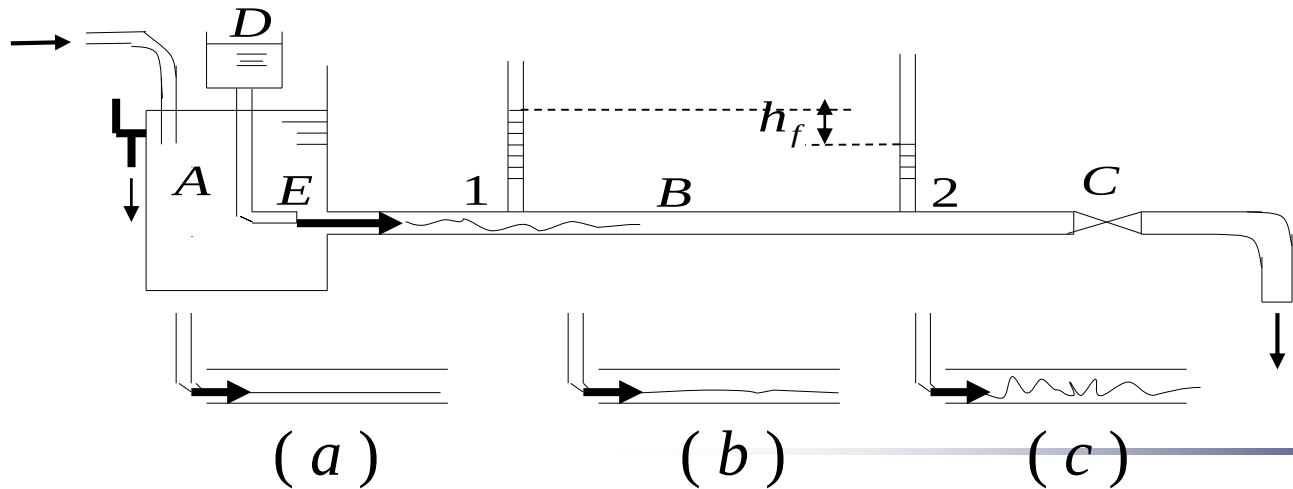
Shanghai Jiao Tong University

层流与湍流

Reynolds实验（1883年）：



雷诺实验装置图

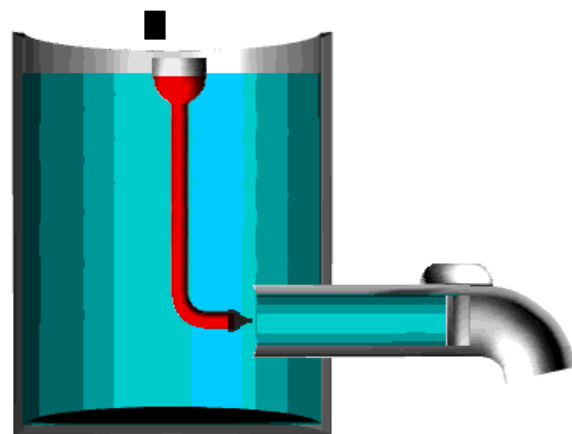




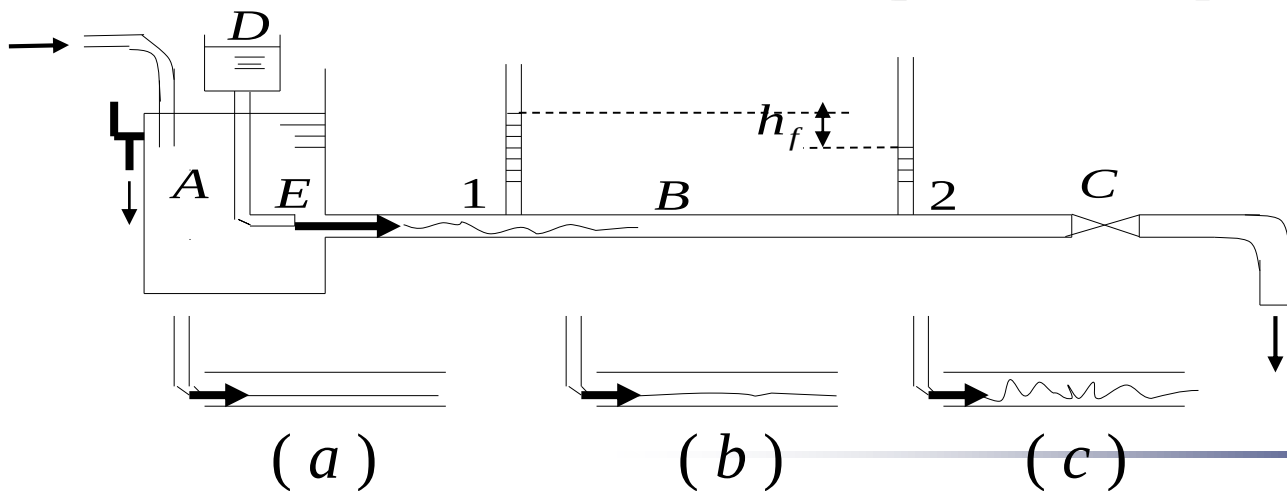
层流与湍流

在实验的管段上，因为水平直管路中流体作稳定流时，根据能量方程可以写出其沿程水头损失就等于两断面间的压力水头差，即：

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$



雷诺实验装置图



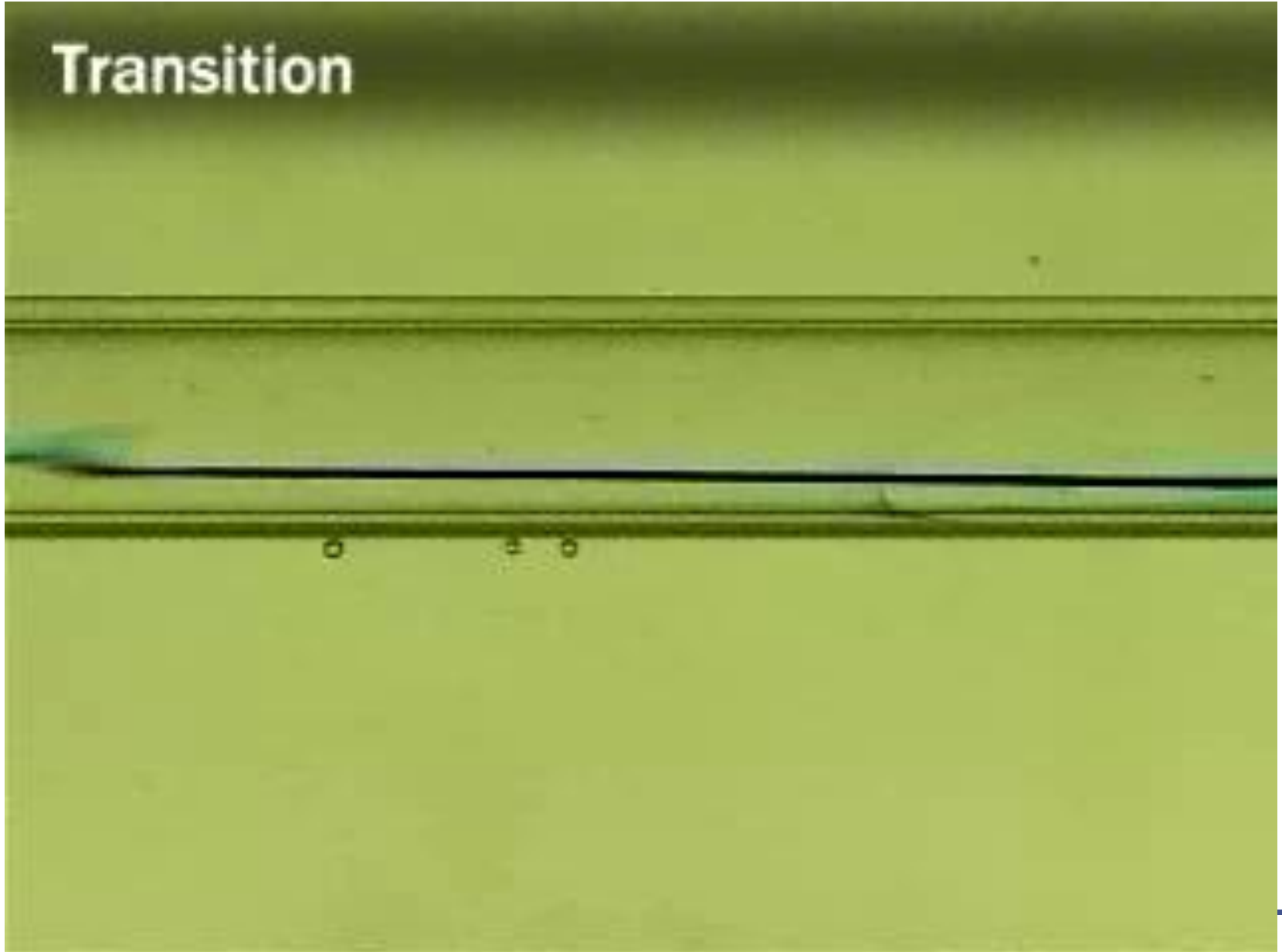


上海交通大学

Shanghai Jiao Tong University

层流与湍流

Transition



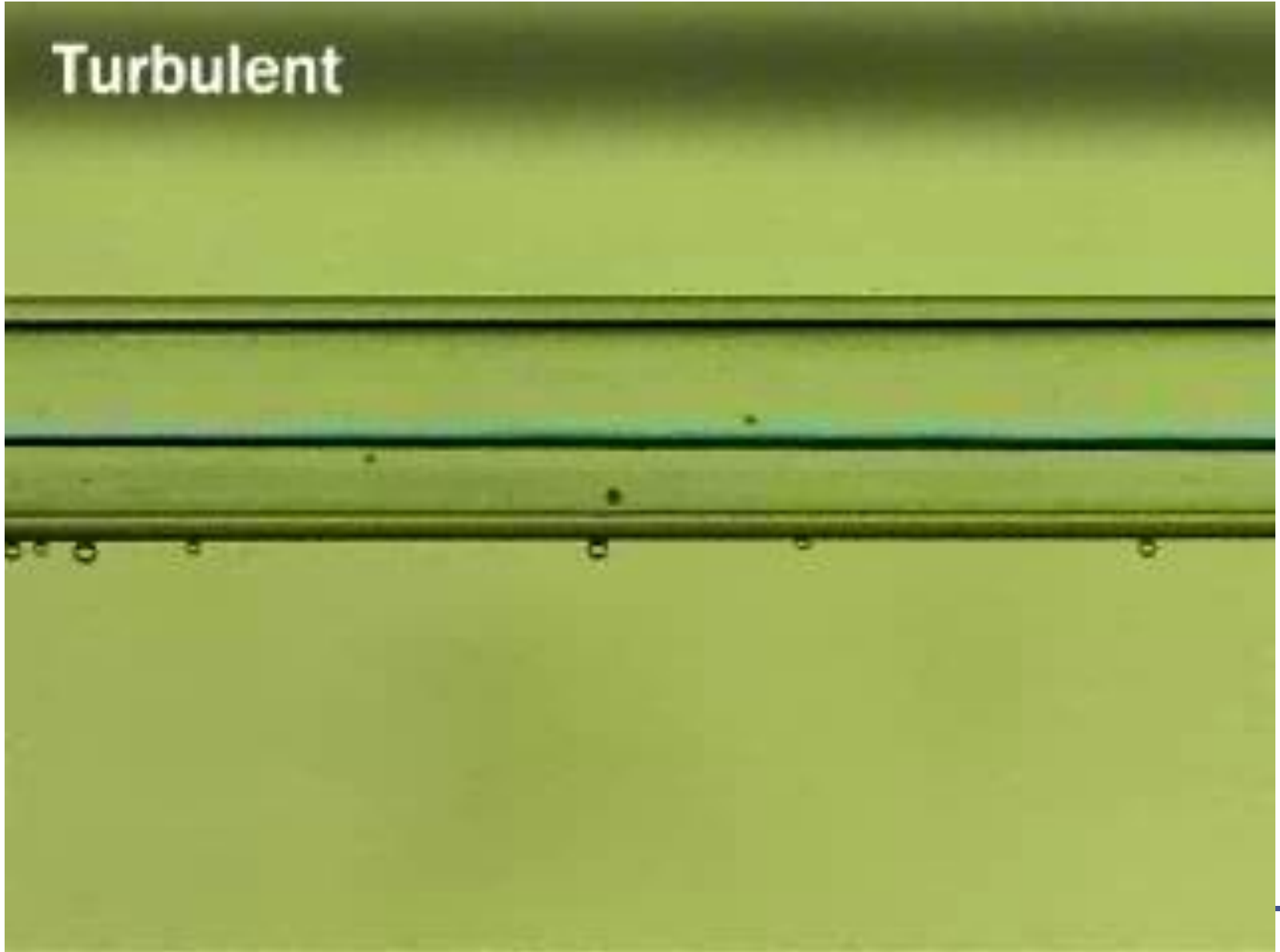


上海交通大学

Shanghai Jiao Tong University

层流与湍流

Turbulent





层流与湍流

层流：流体运动很有规则，各部分分层流动互不掺混，流体质点的运动轨迹是光滑曲线，而且流场稳定。

湍流：流体运动极不规则，各部分激烈掺混，流体质点的运动轨迹杂乱无章，而且流场极不稳定。

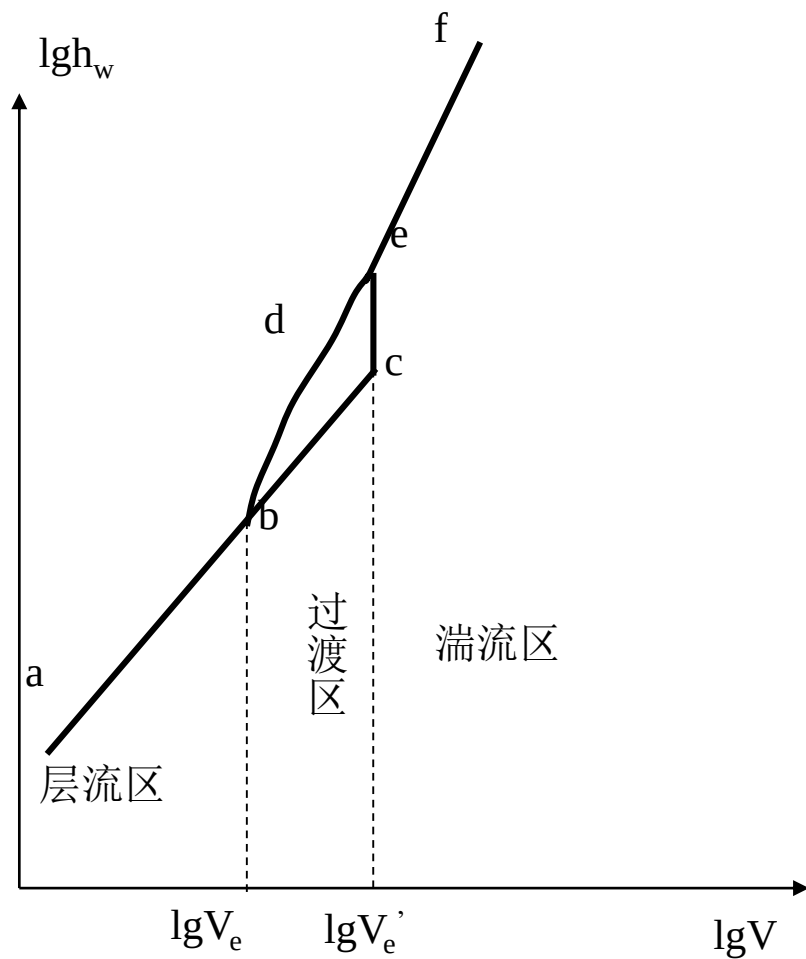
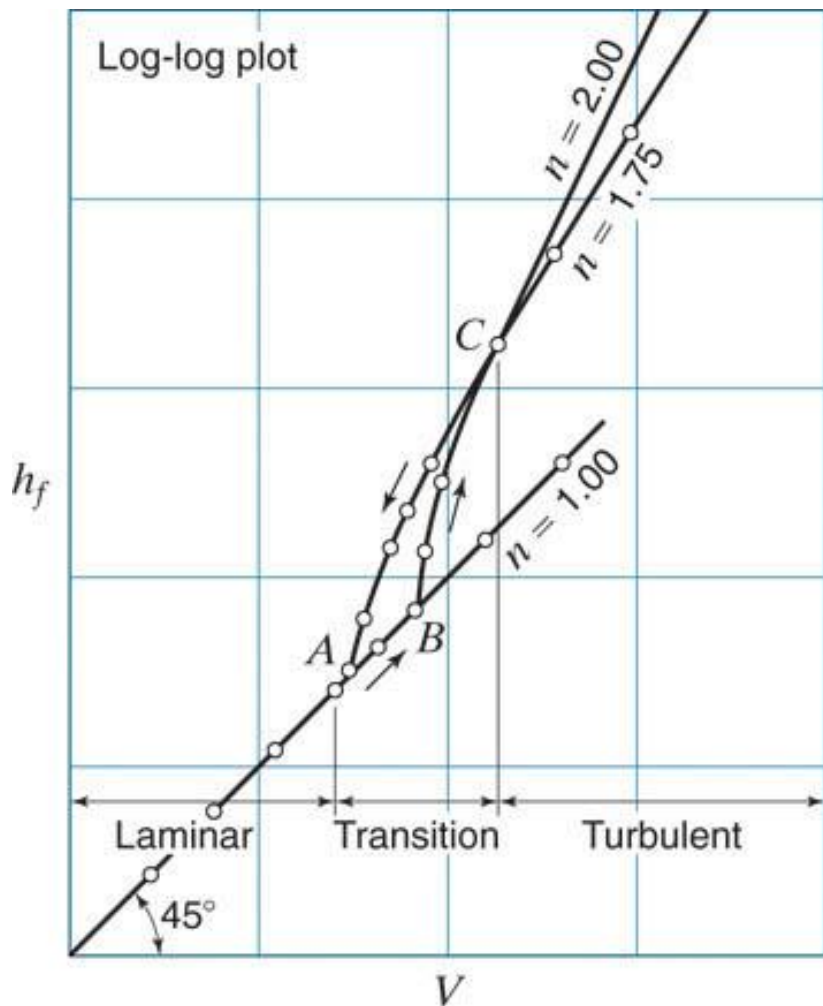


层流和湍流在一定条件下，可以相互转换。中间存在一个同时具有层流和湍流特征的**过渡区**，或者说**转捩区**。



层流与湍流

通过改变流量来改变流速，将 V 与 h_f 对应关系绘于双对数坐标纸上，得到：





无论是层流状态还是湍流状态，实验点都分别集中在不同斜率的直线上，方程式为：

$$\lg h_f = \lg k + m \lg V$$

式中：

$\lg k$ — 直线的截距；

m — 直线的斜率，且 $m = \operatorname{tg} \theta$ (θ 为直线与水平线的交角)。



大量实验证明:

层流时: $\theta_1 = 45^\circ, m = 1$, 即 $\lg h_f = \lg k_1 + \lg V$ 或 $h_f = k_1 V$

沿程水头损失与平均流速成正比

$$h_f \propto V^{1.0}$$

湍流时: $\theta_2 > 45^\circ, m = 1.75 \sim 2$, 即 $\lg h_f = \lg k_2 + m \lg V$ 或 $h_f = k_2 V^m$

沿程水头损失与平均流速的1.75~2次方成正比

$$h_f \propto V^{1.75 \sim 2.0}$$



圆管层流的沿程水头损失的计算公式，即 **Darcy-Weisbach 方程**：

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{\bar{u}^2}{2g}$$

$D = 2R$ 是圆管直径

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{是Darcy摩擦系数,} \quad \text{Re} = \frac{\rho D \bar{u}}{\mu} \quad \text{是Re数。}$$

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{\bar{u}^2}{2g} = 64 \frac{\mu}{\rho D \bar{u}} \frac{L}{D} \frac{\bar{u}^2}{2g} = \frac{32}{\rho g} \frac{L}{D^2} \bar{u}$$



流态的判别—雷诺数：

雷诺数： 惯性力和粘性力量级之比

惯性力： ma 量纲为： $\rho V \frac{V}{L} L^3$

粘性力： $\mu A \frac{du}{dy}$ 量纲为： $\mu \frac{V}{L} L^2$

$$\text{Re} = \frac{\rho V \frac{V}{L} L^3}{\mu \frac{V}{L} L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu}$$



层流与湍流

雷诺数 Re 是决定流动是层流还是湍流的唯一无因次参数。

圆管雷诺数 Re 定义如下：

$$Re \equiv \frac{\rho \bar{V} d}{\mu}$$

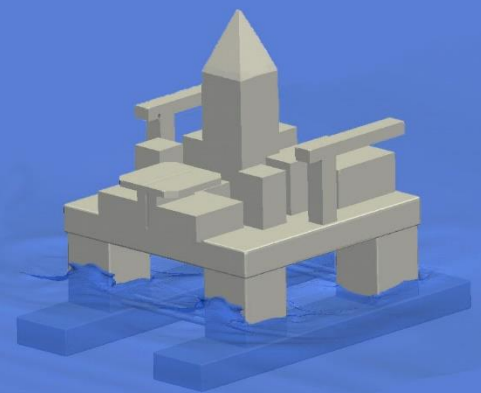
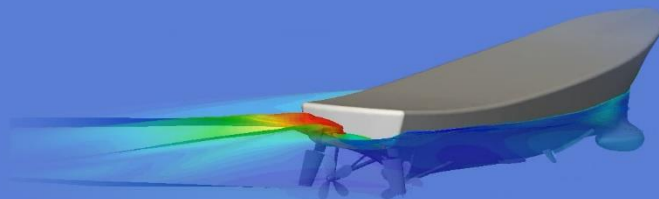
ρ = 流体密度, μ = 流体粘性系数,

$\bar{V}$ = 圆管横截面平均速度, d = 圆管直径

圆管	$Re < 2,000$	Laminar flow
	$2,000 < Re < 4,000$	Transitional flow
	$Re > 4,000$	Turbulent flow

CMHL COMPUTATIONAL MARINE HYDRODYNAMICS LAB
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

<http://dcwan.sjtu.edu.cn>



*部分素材来源于网络