

# 《水力学》复习

---

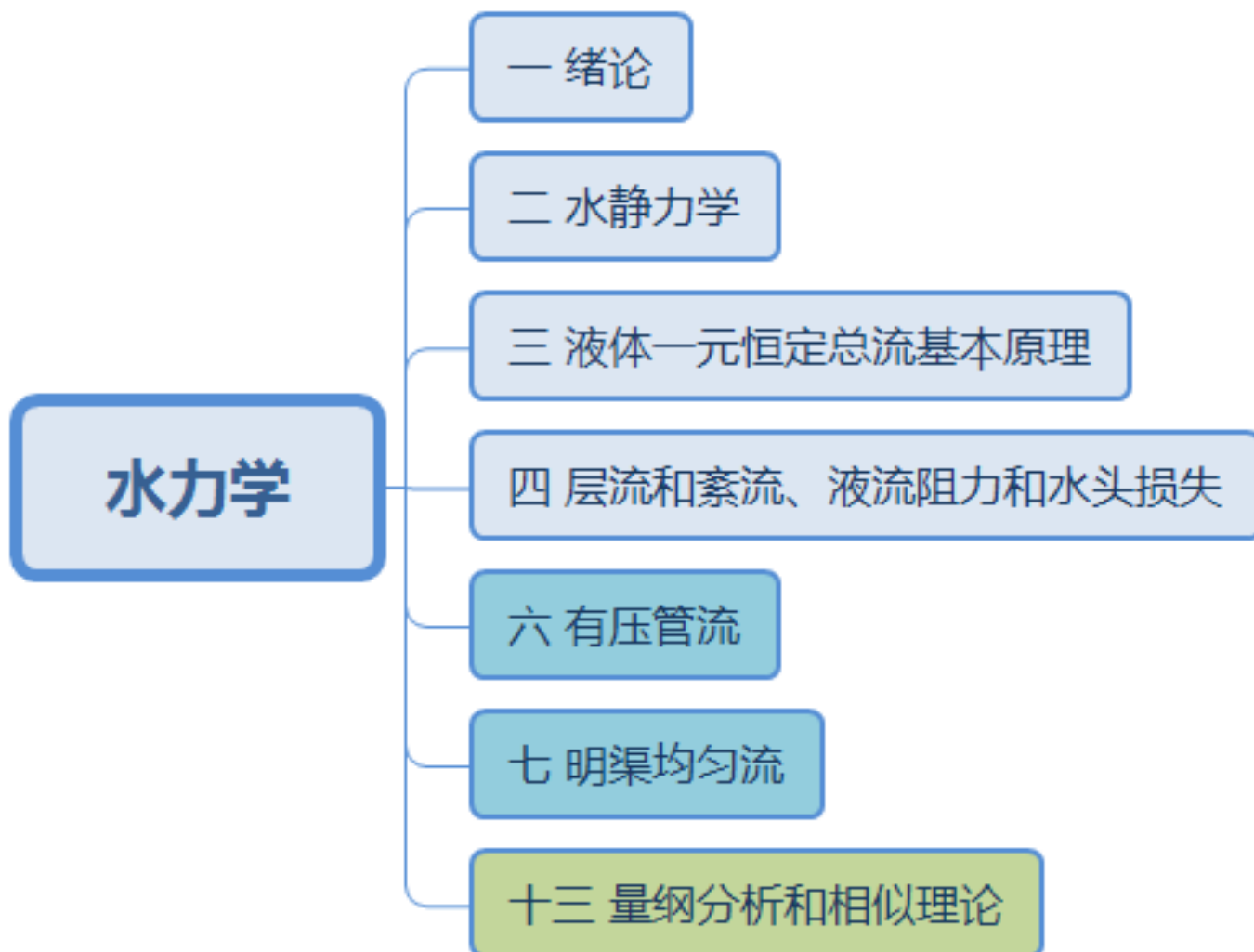
王云鹤

建筑设备工程系

13392659125

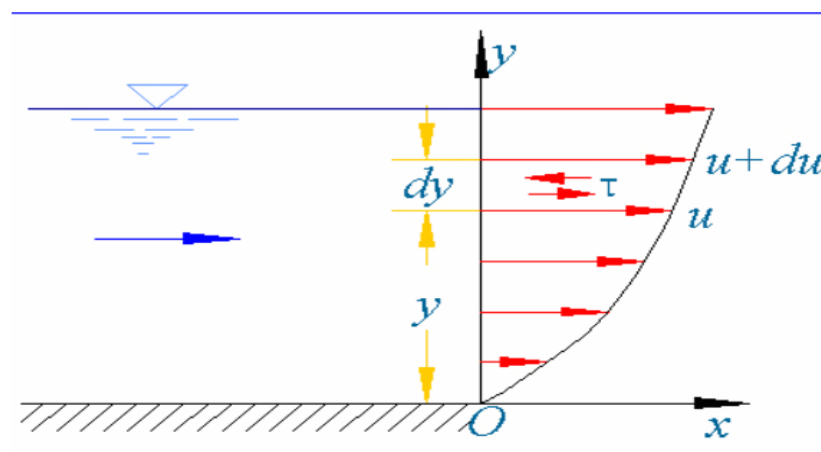
欢迎通过企业微信或者微信等线上方式答疑

# 主要内容



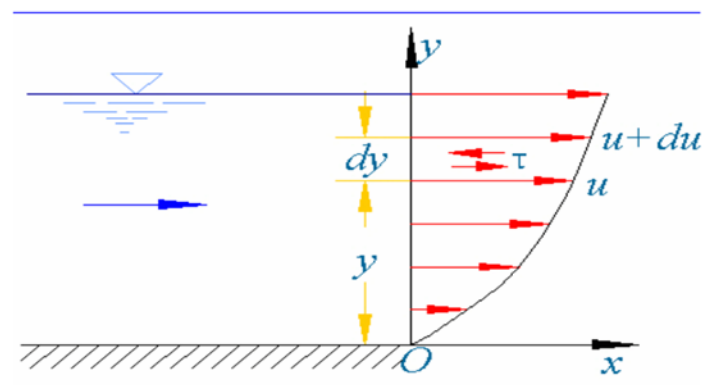
# 第一章 绪论

- 液体的基本特性：
  - 易流动性
  - 可压缩性
  - 粘滞性
- 粘滞性及粘滞力：当液体处在运动状态时，若液体质点之间存在着相对运动，则质点间要产生内摩擦力抵抗其相对运动，这种性质称为液体的粘滞性，此内摩擦力又称为粘滞力。



牛顿内摩擦定律：

$$F = \mu A \frac{du}{dy}$$



或

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

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

流速梯度

$$\mu$$

动力粘滞系数，国际单位： $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

$$\nu$$

运动粘滞系数，国际单位： $\text{m}^2/\text{s}$

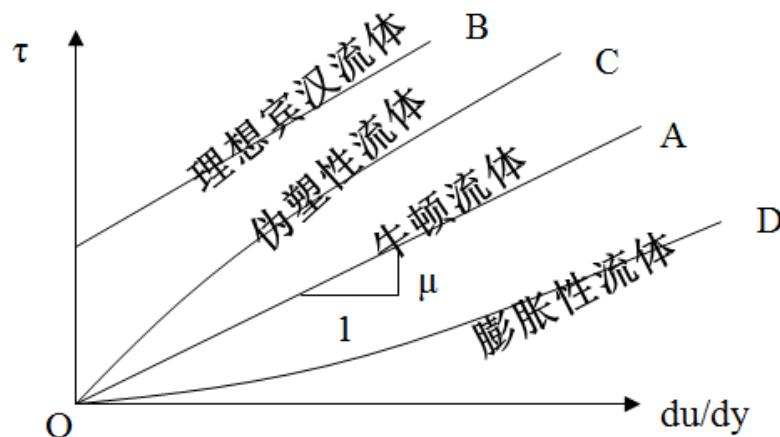
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

牛顿内摩擦定律的适用条件：  
层流运动和牛顿流体。

## 牛顿流体：

符合牛顿

内摩擦定律的流体。



在水力学中，液体分为**理想液体**和**实际液体**：

**理想液体**：忽略粘性效应的液体。

**实际液体**：粘性液体。

是否考虑粘滞性是理想液体和实际液体的最主要差别。

综上所述，液体的**惯性**、**重力特性**和**粘滞性**对液体运动有重要的影响，而液体的**可压缩性**、**表面张力**等只有在特殊问题中才需要考虑，请注意区分。

水力学研究：

- 1、把水看作不可压缩、没有表面张力，连续介质假设下忽略粘滞性的**理想液体**；
- 2、或把水看作不可压缩、没有表面张力，连续介质假设下，粘滞性不忽略的**实际液体**。

# 水静力学中所受的力

- 1、质点之间无相对运动，不存在切力；
  - 2、液体不能承受拉力；
  - 3、静止液体相邻两部分之间，以及液体与固体壁面之间的表面力只有静水压力。
- 静止：流体质点之间没有相对运动 → 粘性不起作用，所以流体静力学的讨论不须区分流体是实际流体或理想流体。

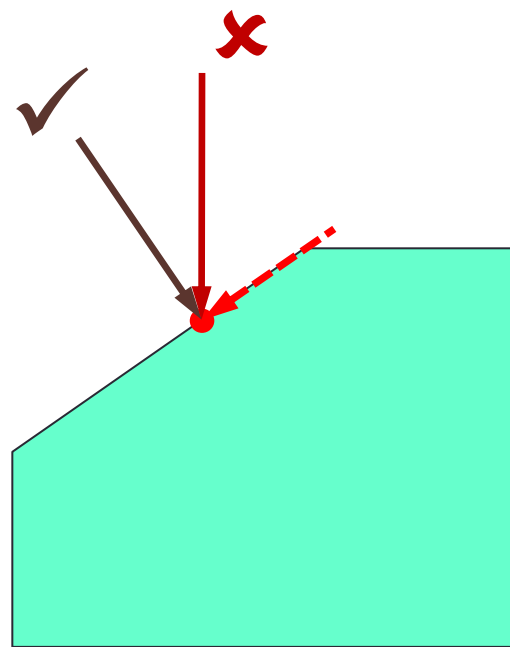
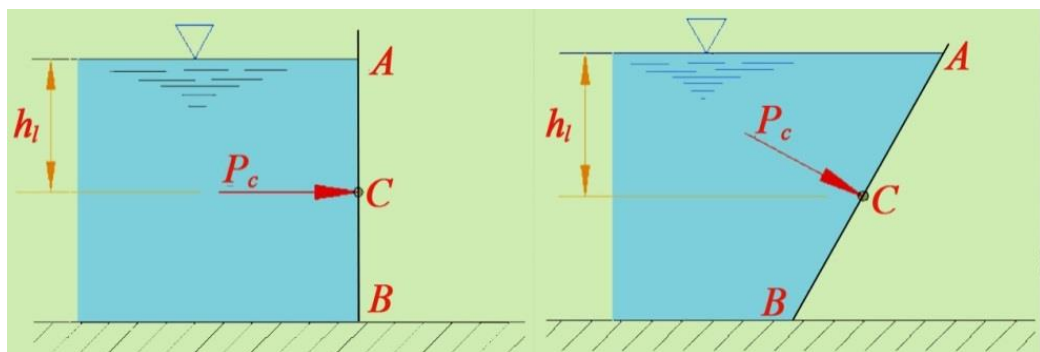
# 第二章 水静力学

- 2.1 水静力学概述
- 2.2 静水压强及其特性
- 2.3 液体平衡微分方程及其积分
- 2.4 重力作用下静水压强的分布规律
- 2.5 作用于平面上的静水总压力
- 2.6 作用于曲面上的静水总压力



# (一) 静水压强的特性

1. 静水压强垂直指向受压面。

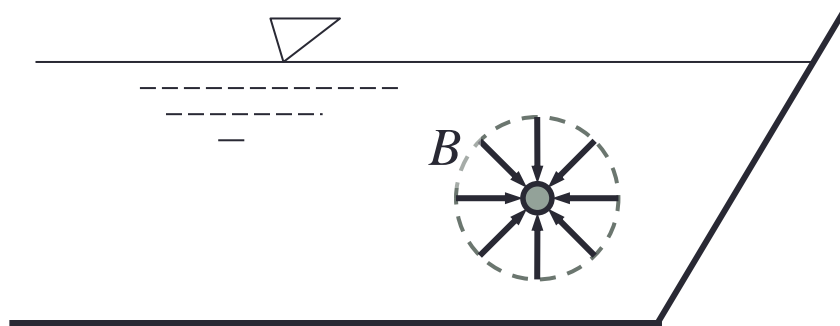


2. 作用于同一点上各方向的静水压强的的大小相等。

任一点的静水压强仅是空间坐标的函数

即：压强  $p$  是一个标量，

$$p = p(x, y, z)$$



## (二) 绝对压强、相对压强、真空

- 压强  $p$  记值的零点不同，有不同的名称：

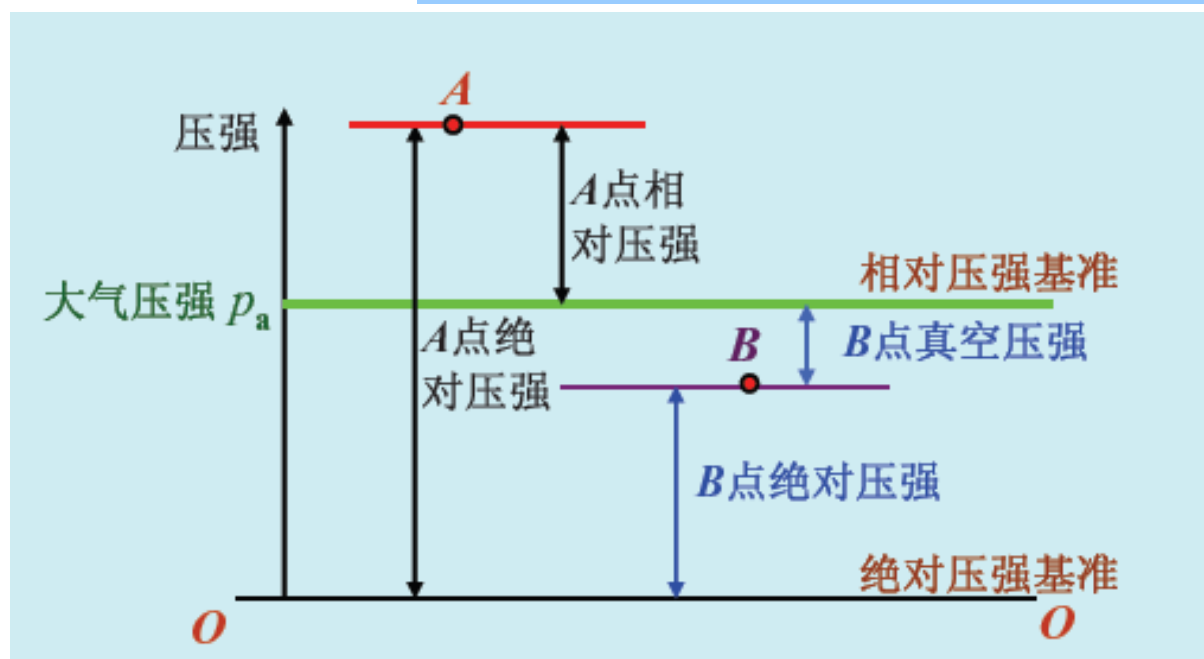
绝对压强：以（绝对）完全真空为零点，记为  $p_{abs}$ 。

两者的关系为： $p_r = p_{abs} - p_a$

相对压强：以当地大气压  $p_a$  为零点，记为  $p_r$ 。工程上使用的压强值，一般不加说明是指它的相对压强值。

真空压强：当相对压强为负值时，其绝对值称为真空压强。记为  $p_v$ 。  $p_v = p_a - p_{abs}$

真空高度(真空度)：

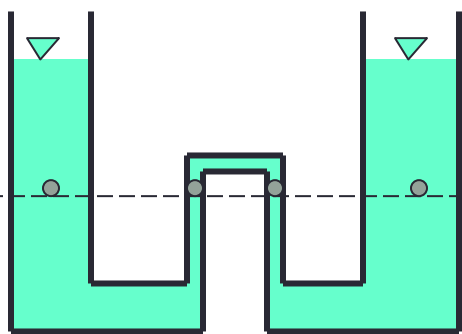


### (三) 等压面的概念及作用

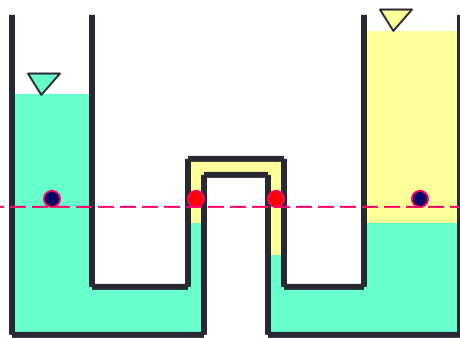
- 由压强相等的点连成的面，称为等压面。
  - 等压面可以是平面，也可以是曲面。

#### ■ 特性：

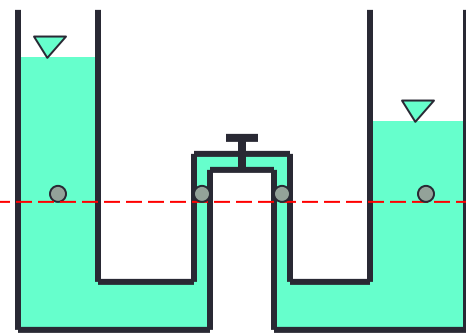
- 等压面必与质量力正交。
- 只受重力作用的**连通**的**同一种**液体内，等压面为水平面；反之，水平面不为等压面。



连通容器



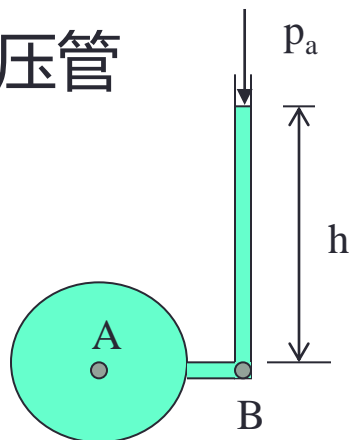
连通容器



连通器被隔断

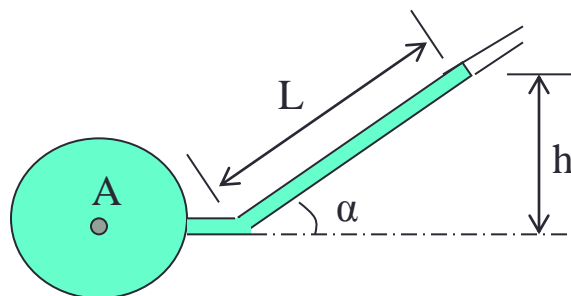
# 压强的测量——利用水静力学原理设计的液体测压计

## 1. 测压管

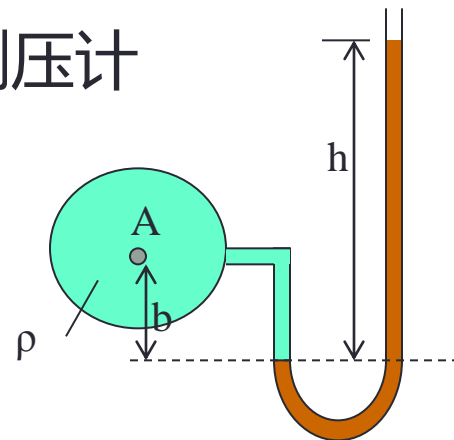


$$p_A = p_B = \rho g h$$

## 2. U形水银测压计

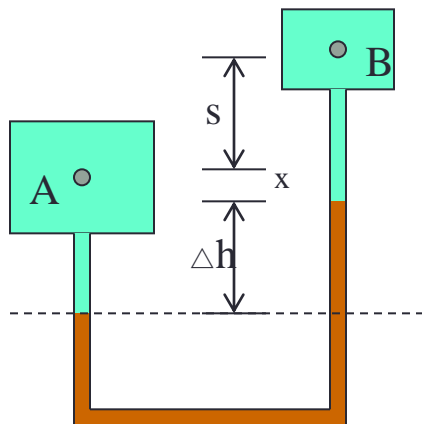


$$p_A = \rho g L \sin \alpha$$

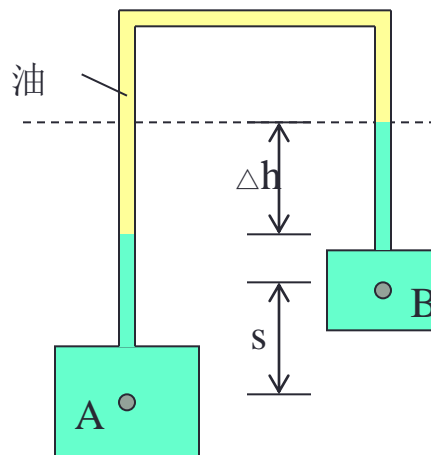


$$p_A + \rho g b = \rho_m g h$$

## 3. 差压计



$$p_A + \rho_A g (x + \Delta h) = p_B + \rho_B g (s + x) + \rho_m g \Delta h$$

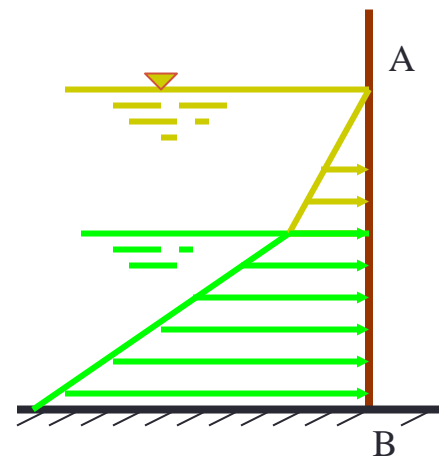
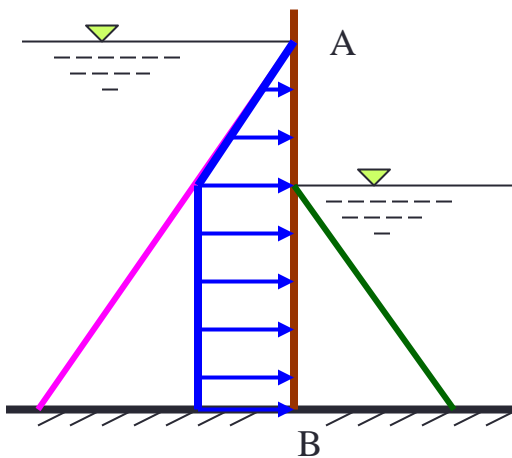
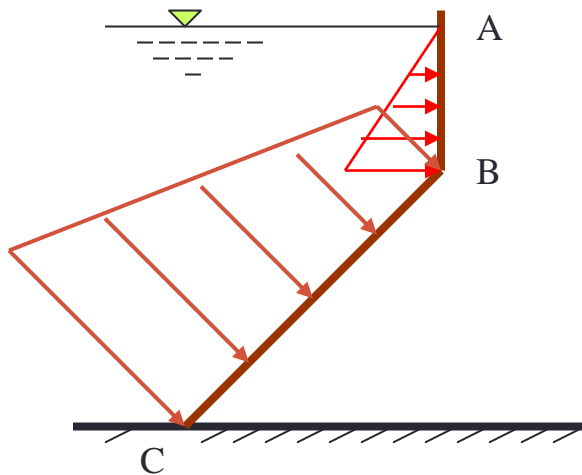
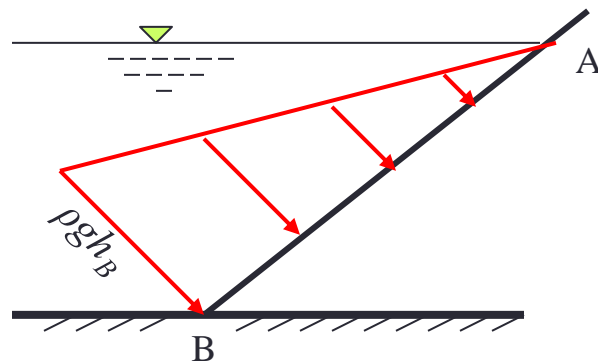
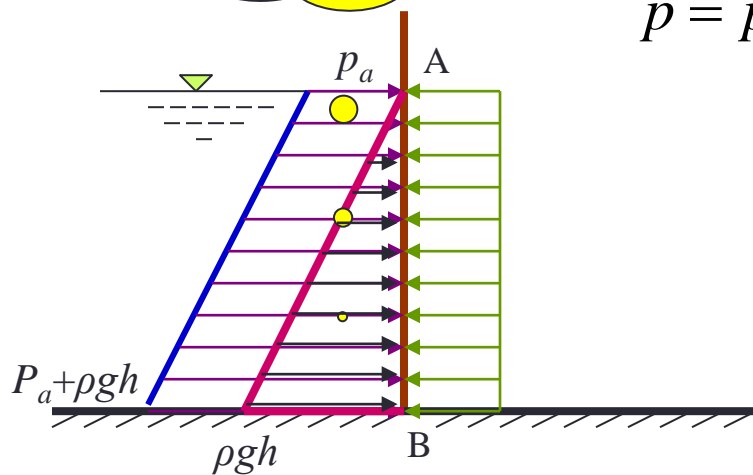


$$p_A - \rho_A g (s + x) - \rho_n g \Delta h = p_B - \rho_B g (x + \Delta h)$$

# 画出下列AB或ABC面上的静水压强分布图

相对压强  
分布图

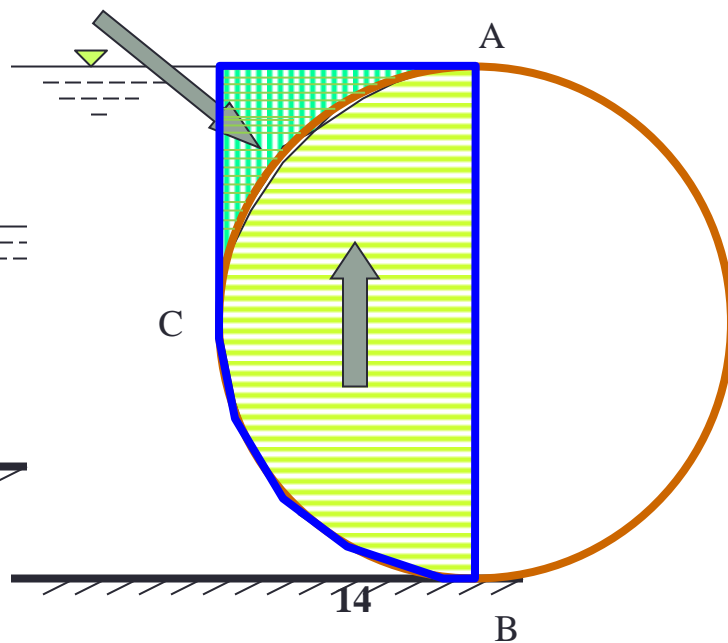
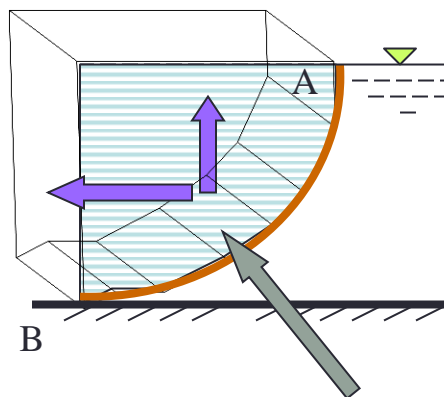
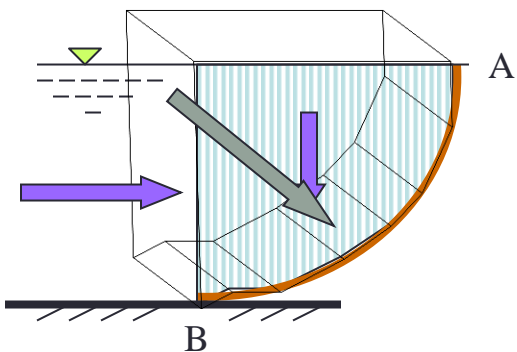
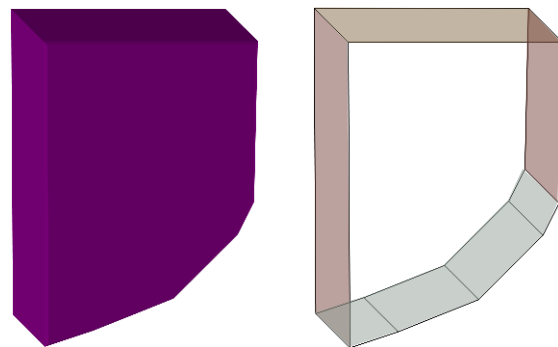
$$p = p_0 + \rho gh$$



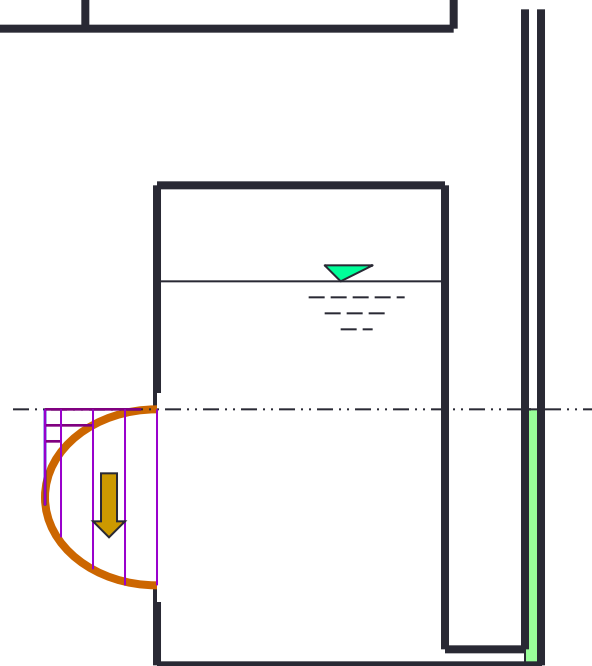
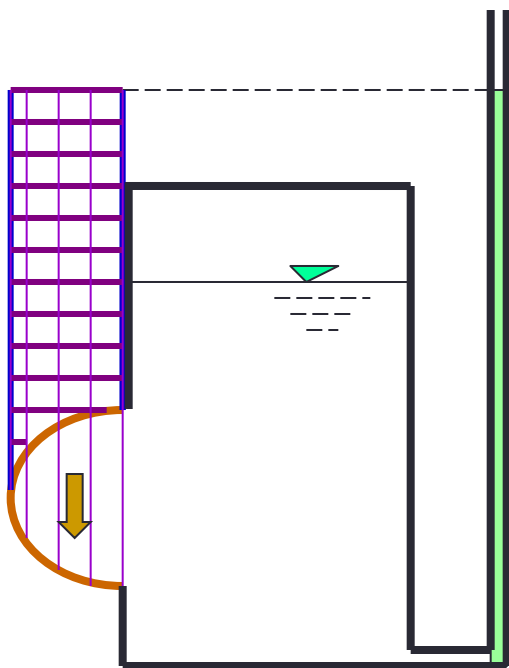
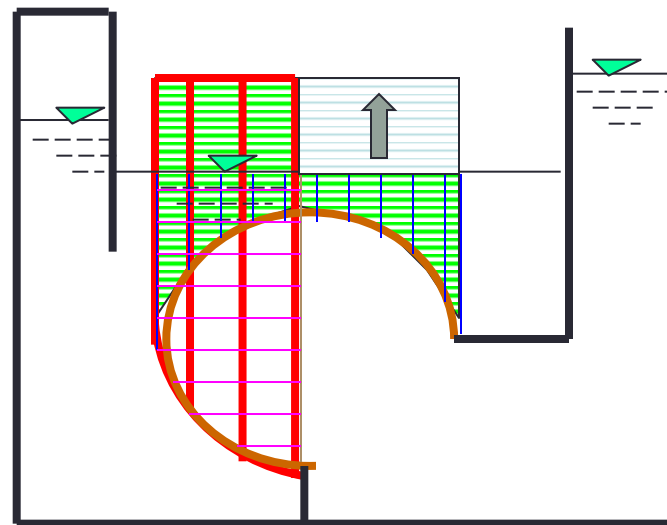
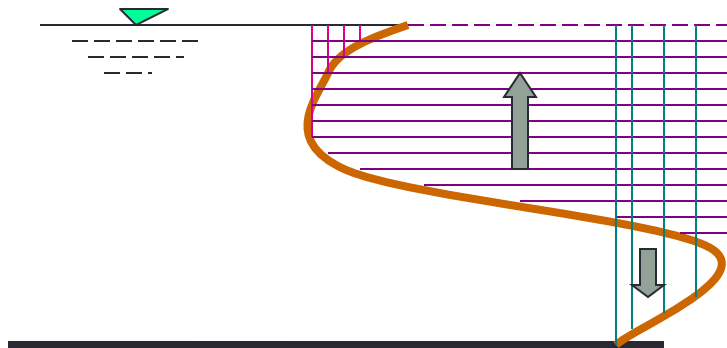
# 压力体及画法：

压力体应由下列周界面所围成：

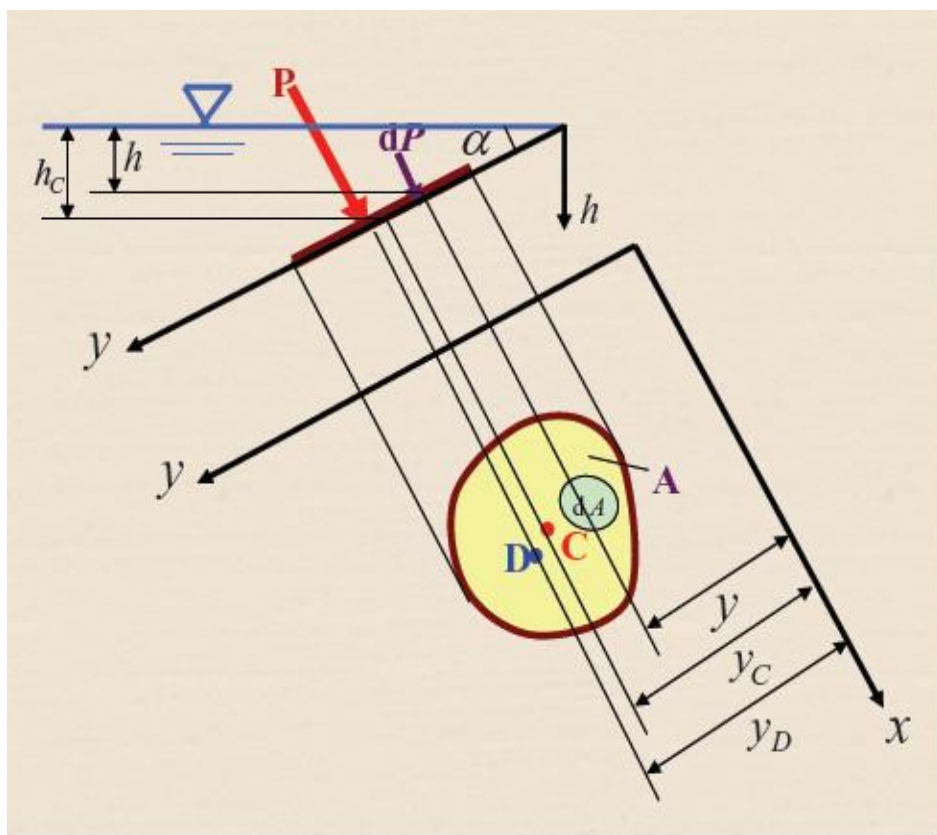
- (1) 受压曲面本身
- (2) 自由液面或其延长面
- (3) 通过曲面的四个边缘向液面或液面的延长面所作的铅垂平面



# 复杂柱面的压力体



# 解析法——作用于任意形状平面上的静水总压力



静水总压力的大小:

$$P = \rho g \sin \alpha y_c A = \rho g h_c A = p_c A$$

C: 待求面的形心

静水总压力的方向:

垂直并指向受压面

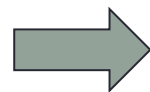
$$y_D = \frac{I_c + y_c^2 A}{y_c A} = y_c + \frac{I_c}{y_c A}$$



# 第三章 液体一元恒定总流基本原理

- 3.1 概述
- 3.2 描述液体运动的两种方法
- 3.3 液体运动的几个基本概念
- 3.4 恒定一元流的连续性方程式
- 3.5 实际液体恒定总流的能量方程式
- 3.6 能量方程式的应用举例
- 3.7 实际液体恒定总流的动量方程式
- 3.8 恒定总流动量方程式的应用举例

**质量守恒定律**  
**能量守恒定律**  
**动量守恒定律**



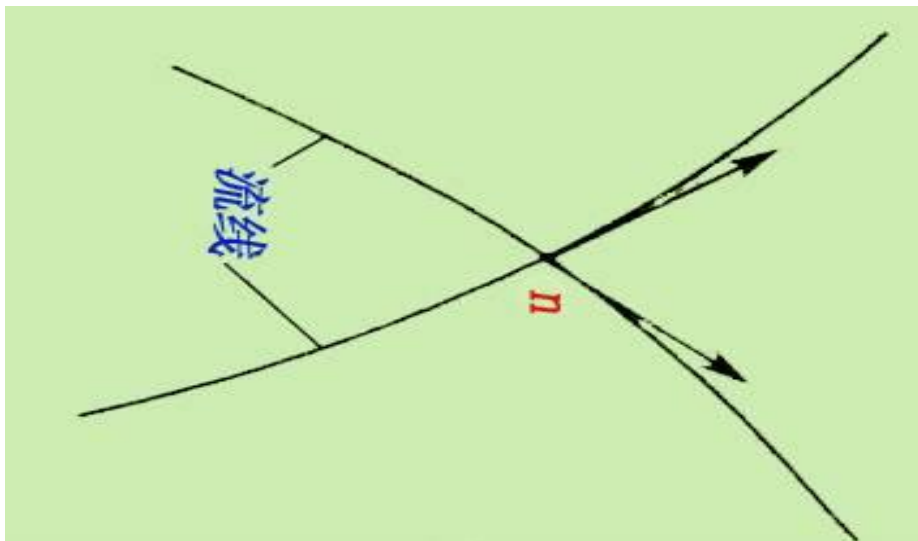
**连续性方程**  
**能量方程**  
**动量方程**

- **拉格朗日法**：以研究单个液体**质点**的运动过程作为基础，综合所有质点的运动，构成整个液体的运动。又称为**质点系法**。
- **欧拉法**：以考察不同液体质点通过**固定的空间点**的运动情况作为基础，综合所有空间点上的运动情况，构成整个液体的运动。又称为**流场法**。

欧拉法的若干概念：一元流、二元流、三元流

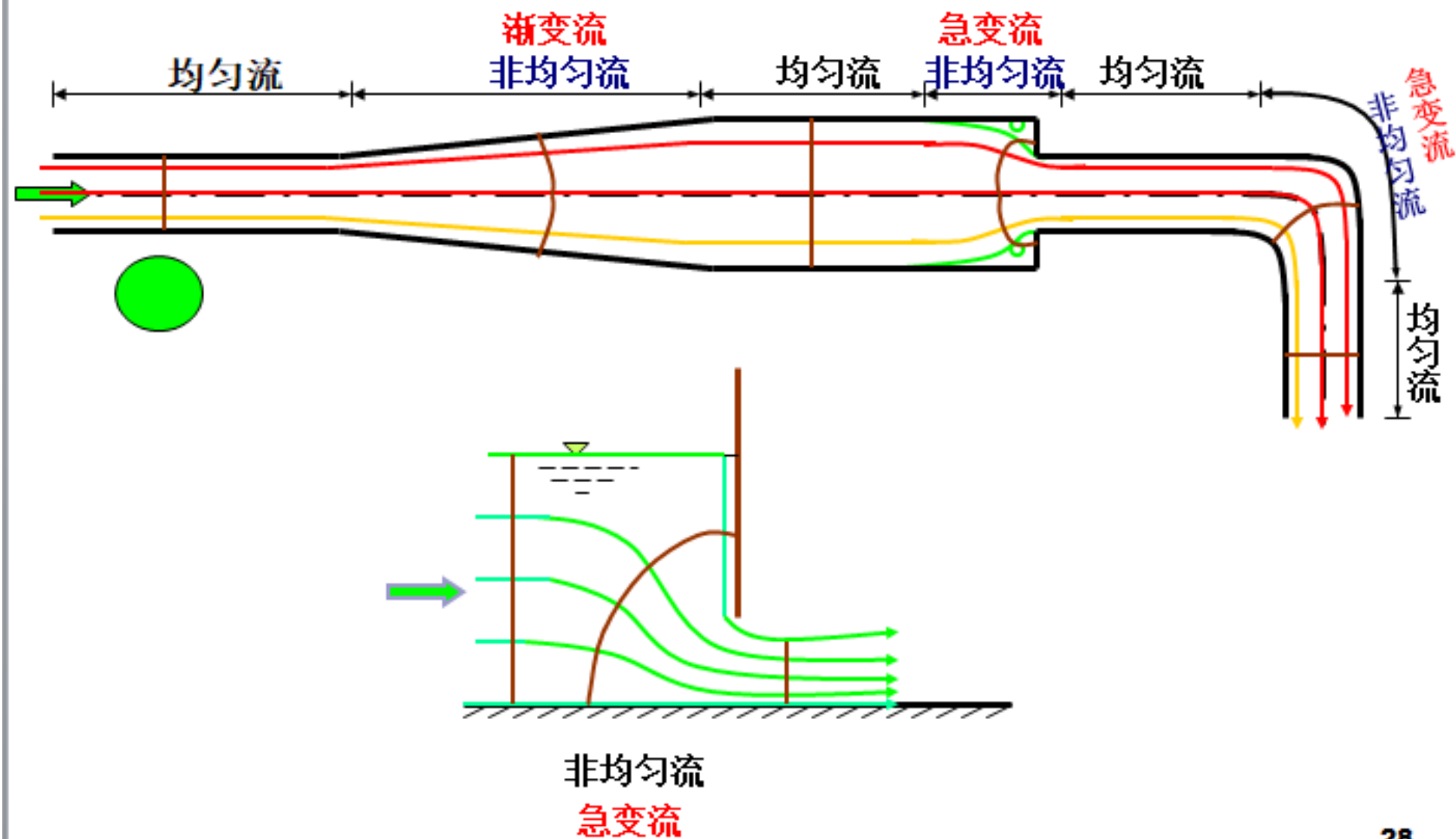
恒定流、非恒定流 流线

**! 流线不能相交，不能为折线。**





## 通过流线图做简单总结



# 理想恒定元流能量方程式的物理意义

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

位置水头

压强水头

流速水头

测压管水头

总水头

单位位能

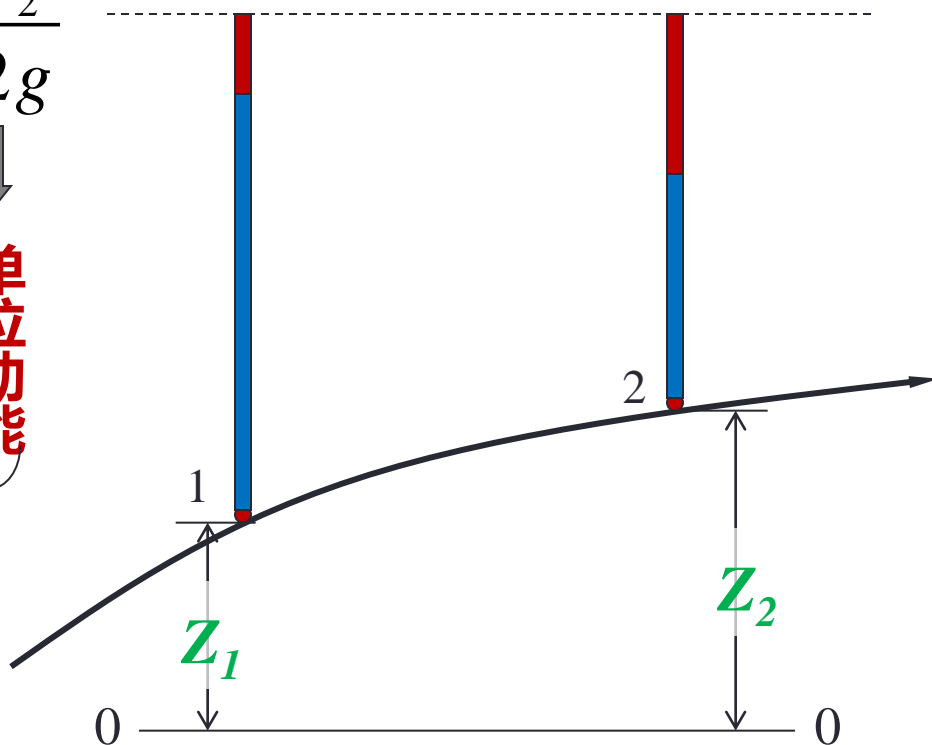
单位压能

单位动能

单位势能

单位总机械能

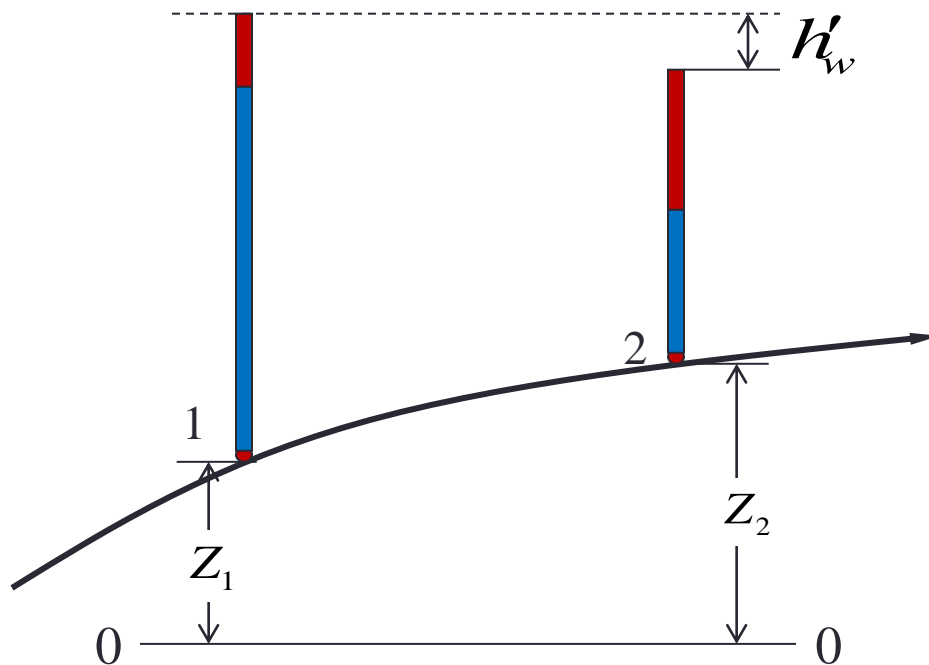
$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = C$$



## 实际液体恒定元流的能量方程式

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_w$$

$h'_w$ ——单位重量液体从断面1-1流至断面2-2所损失的能量，称为水头损失。



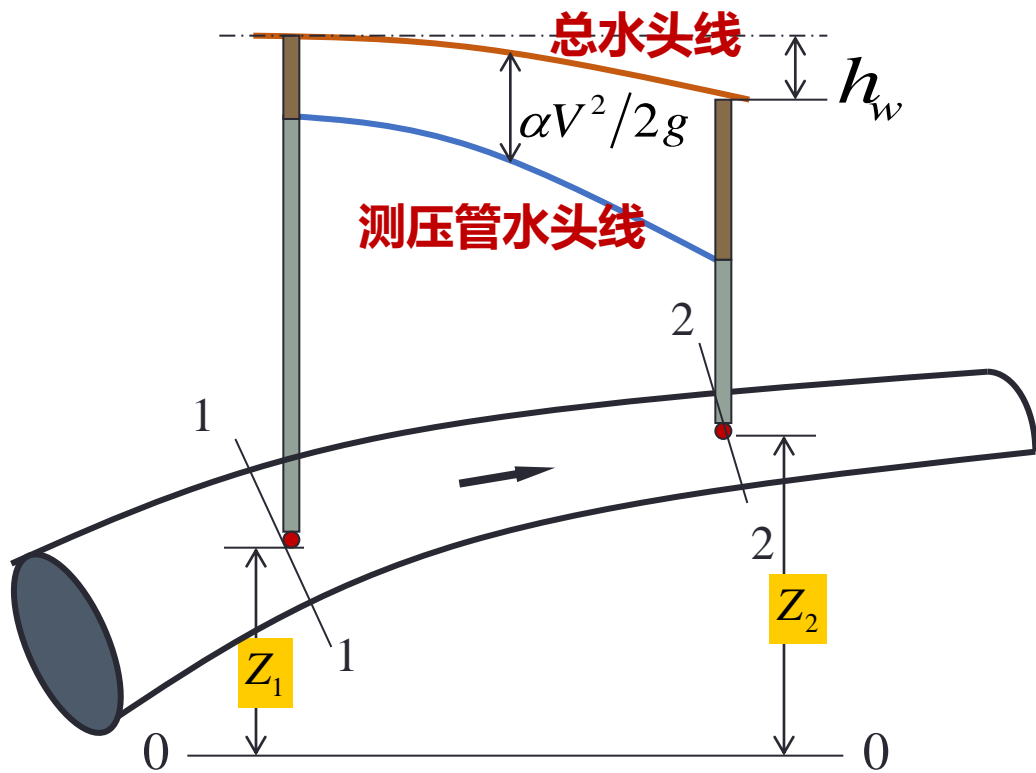
$$\left[ Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right] = \left[ Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right] + h_w$$

水力坡度  $J$ ——单位长度流程上的水头损失

$$J = \frac{dh_w}{dL} = \frac{-dH}{dL}$$

# 测压管坡度

$$J_p = \frac{-d(Z + \frac{p}{\rho g})}{dL}$$





# 第四章 层流和紊流、液流阻力和水头损失

- 水头损失的物理概念及分类
- 液体运动的两种流态
- 沿程水头损失与切应力的关系
- 圆管中的层流运动及其沿程水头损失的计算
- 紊流特征
- 沿程水头损失系数的变化规律
- 计算沿程水头损失的经验公式-谢才公式
- 局部水头损失

# 雷诺试验结论：

物理意义：  
惯性力 /  
粘滞力

层流与紊流的**判别**（实际流体难用红色）

雷诺数

$$Re = \frac{Vd}{\nu}$$

（下）临界雷诺数  $Re_c = \frac{V_c d}{\nu}$

↓  
 $Re_c = 2300$  (管流) **由实验得**

通过实验测出沿程**水头损失**与断面平均**流速**的关系。

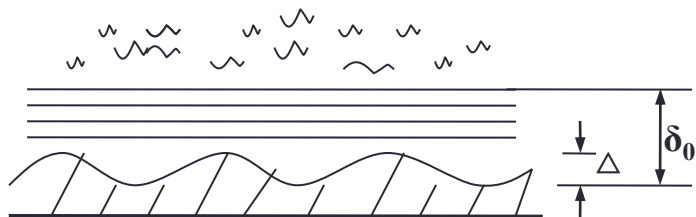
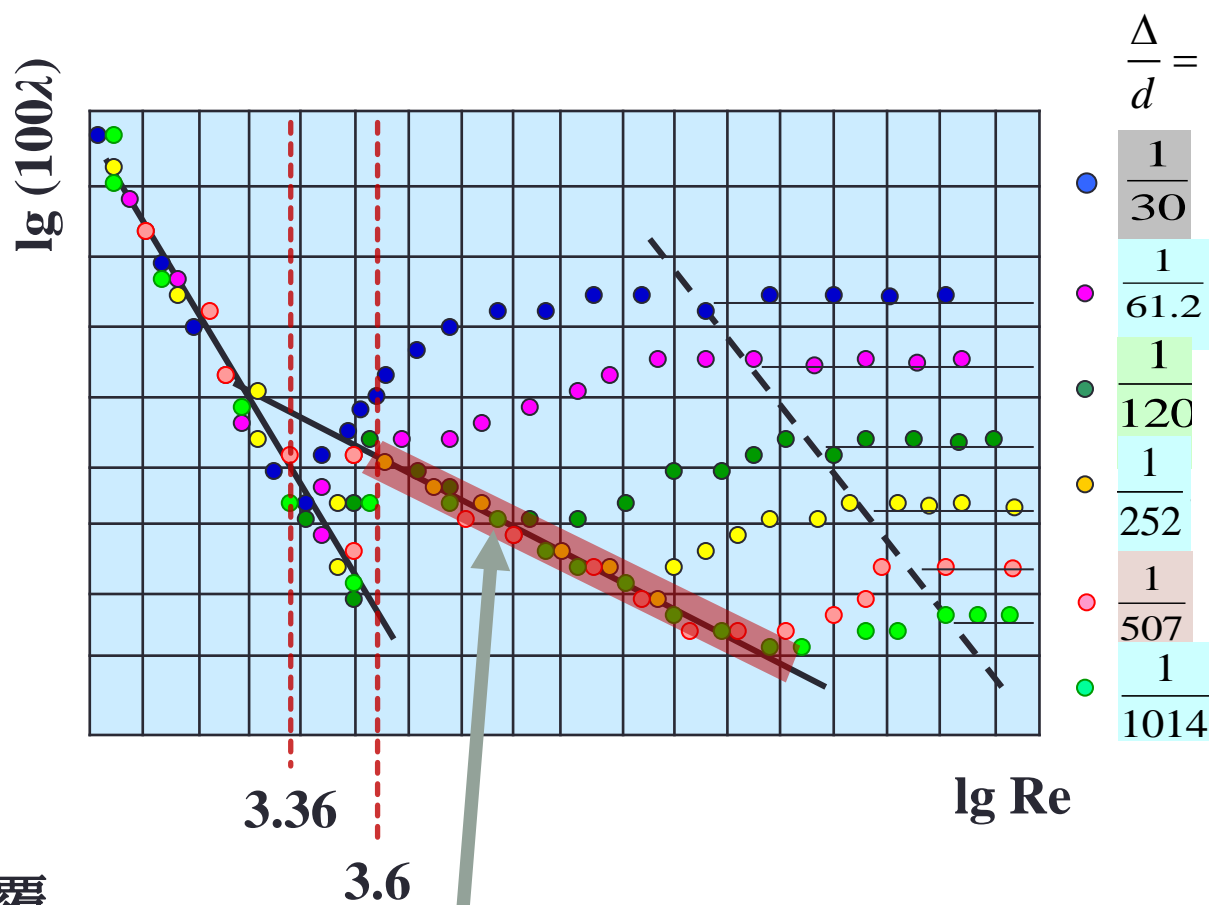
若  $Re < Re_c$ ，水流为层流， $h_f \propto V^{1.0}$

若  $Re > Re_c$ ，水流为紊流， $h_f \propto V^{1.75 \sim 2.0}$

**紊流光滑区**水流沿程水头损失系数只取决于**雷诺数**，粗糙度不起作用。

粗糙度被层流底层覆盖，粗糙度无影响

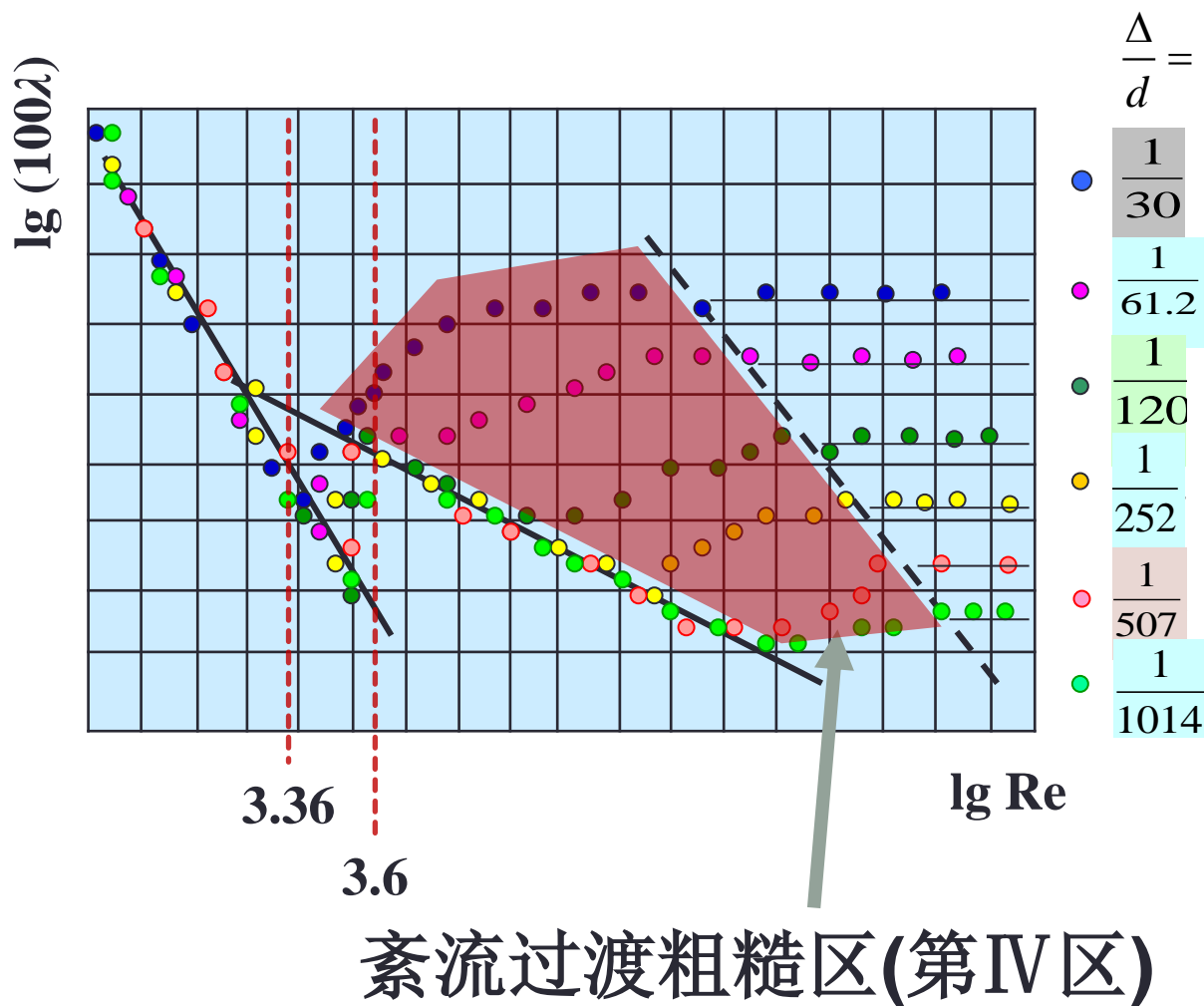
紊流光滑区(第III区)



紊流过渡粗糙区

紊流光滑区与粗糙区之间

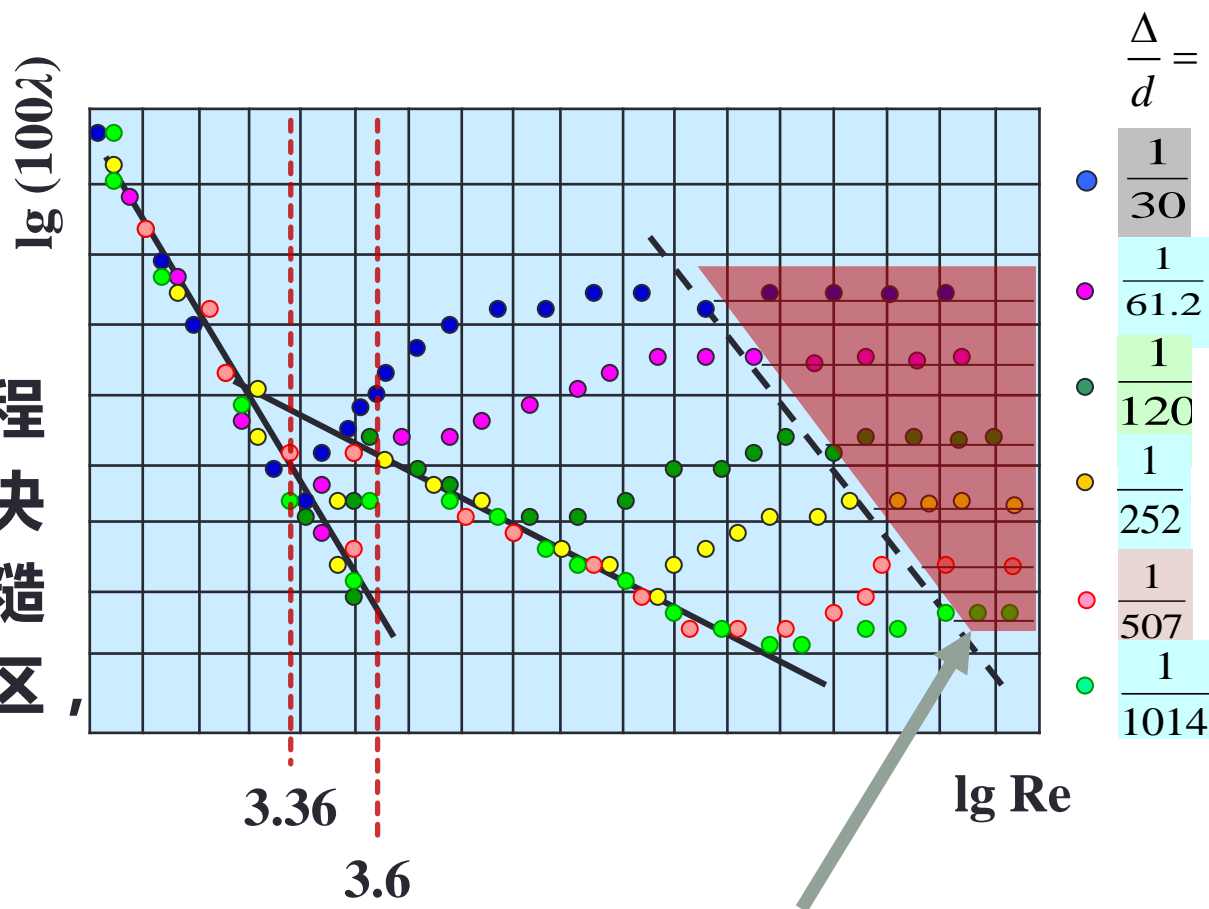
此时沿程损失系数与雷诺数和粗糙度都有关。



**紊流粗糙区**水流沿程  
水头损失系数只取决  
于**粗糙度**，由于粗糙  
高度进入流速对数区，  
阻力大大增加

容易得出粗糙区**紊流**  
沿程损失与流速的  
**2.0次方成正比**。

也叫 ‘**阻力平方区**’



紊流粗糙区(第V区)

# 水头损失的分类:

根据边界的形状、尺寸是否沿程变化  
主流是否脱离固体边壁，形成漩涡

沿程水头损失  $h_f$

在顺直的边界下运动

局部水头损失  $h_j$

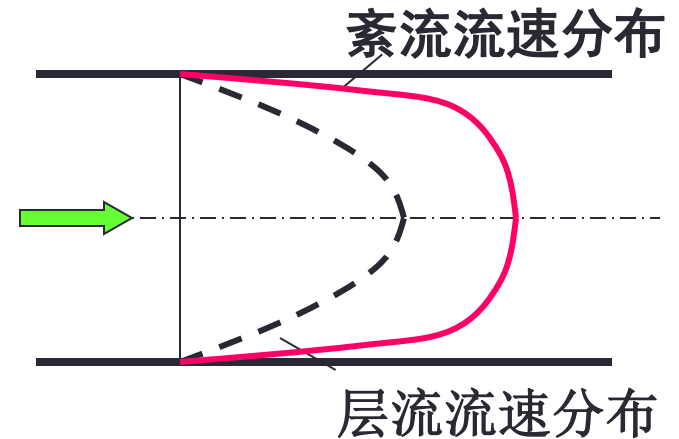
在突变的边界下运动——  
——**漩涡**

某一流段的总水头损失： $h_w = \sum h_f + \sum h_j$

各分段的沿程水头损失的总和

各种局部水头损失的总和

# 紊动流速分布(使流速均匀化)



- 紊流中由于液体质点相互混掺，互相碰撞
- 因而产生了液体内部各质点间的动量传递
- 动量大的质点将动量  $\rightarrow$  动量小的质点，动量小的质点影响动量大的质点
- 结果造成断面流速分布的均匀化。

- 沿程水头损失的一般公式

达西-威斯巴赫 (Darcy-Weisbach) 公式

$$\left\{ \begin{array}{l} h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \\ h_f = \lambda \frac{l}{4R} \frac{V^2}{2g} \end{array} \right.$$

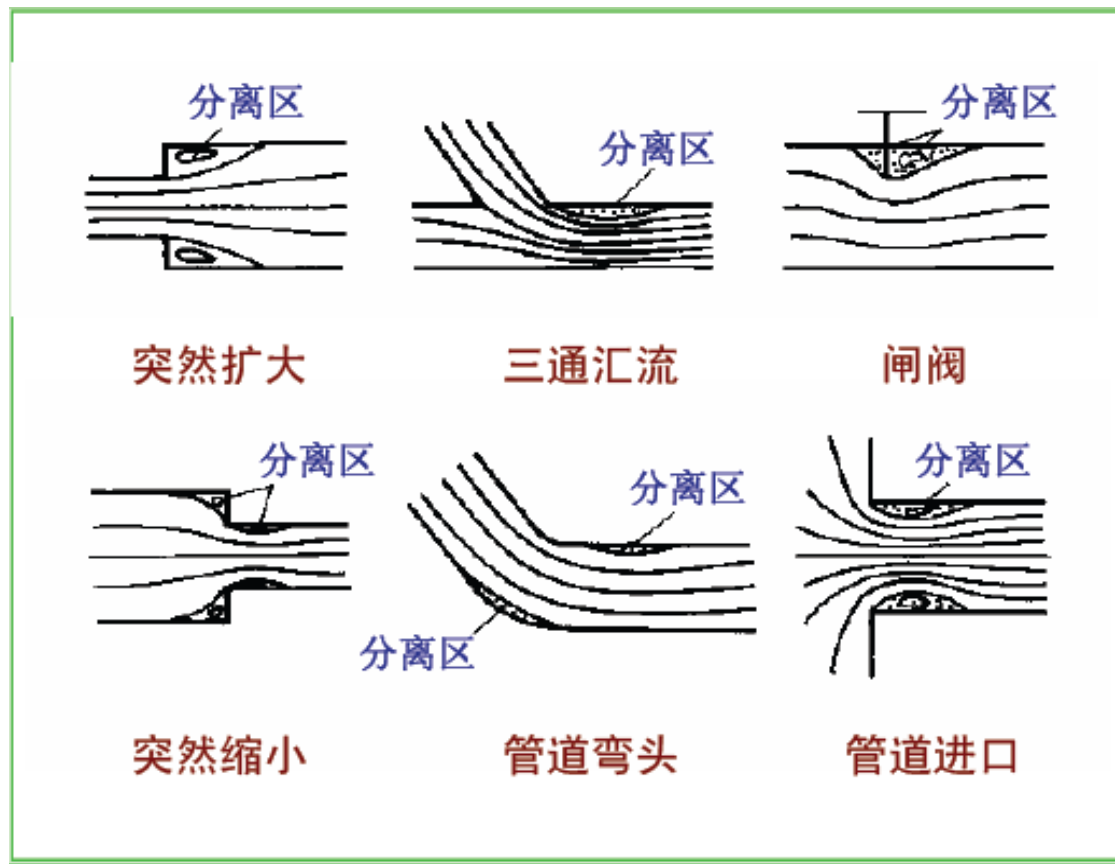


# 局部水头损失的通用计算公式：

$$h_j = \zeta \frac{V^2}{2g}$$



局部阻力系数

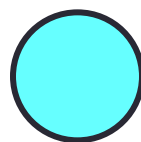


局部水头损失系数查表P113页，表4.4：

# 第六章 有压管流

- 6.1 概述
- 6.2 短管的水力计算
- 6.3 长管的水力计算
- 6.4 管网水力计算基础
- 6.5 有压管道中的水击

有压管道  
无压管道

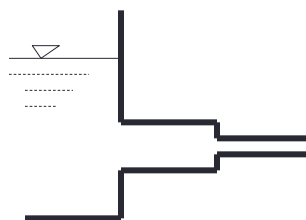


有压流  
无压流

简单管道  
复杂管道



简单管道



串联管道

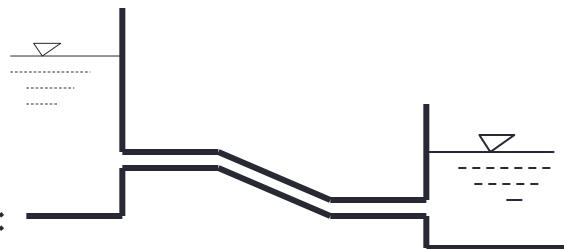
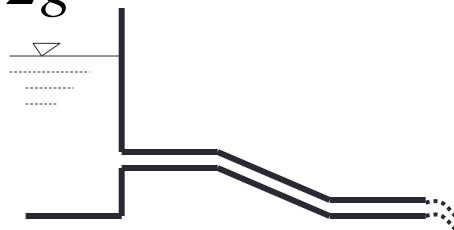


并联管道

长管  $(h_j + \frac{\alpha v^2}{2g}) / h_f < 5\%$   
短管  $(h_j + \frac{\alpha v^2}{2g}) / h_f > 5\%$

恒定流  
非恒定流

自由出流  
淹没出流



实际流体恒定总流能量方程:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_w$$

$$h_w = \begin{cases} h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{L}{4R} \frac{v^2}{2g} \\ h_j = \zeta \frac{v^2}{2g} \end{cases}$$

有压管

~局部损失

$$\begin{cases} v = C\sqrt{RJ} \\ Q = CA\sqrt{RJ} = K\sqrt{J} \\ h_f = \frac{Q^2}{K^2} l \end{cases}$$

## 测压管水头线的绘制

自由出流

$$V_0 \approx 0$$

H

O

$$\frac{V^2}{2g}$$
$$\frac{p}{\rho g}$$

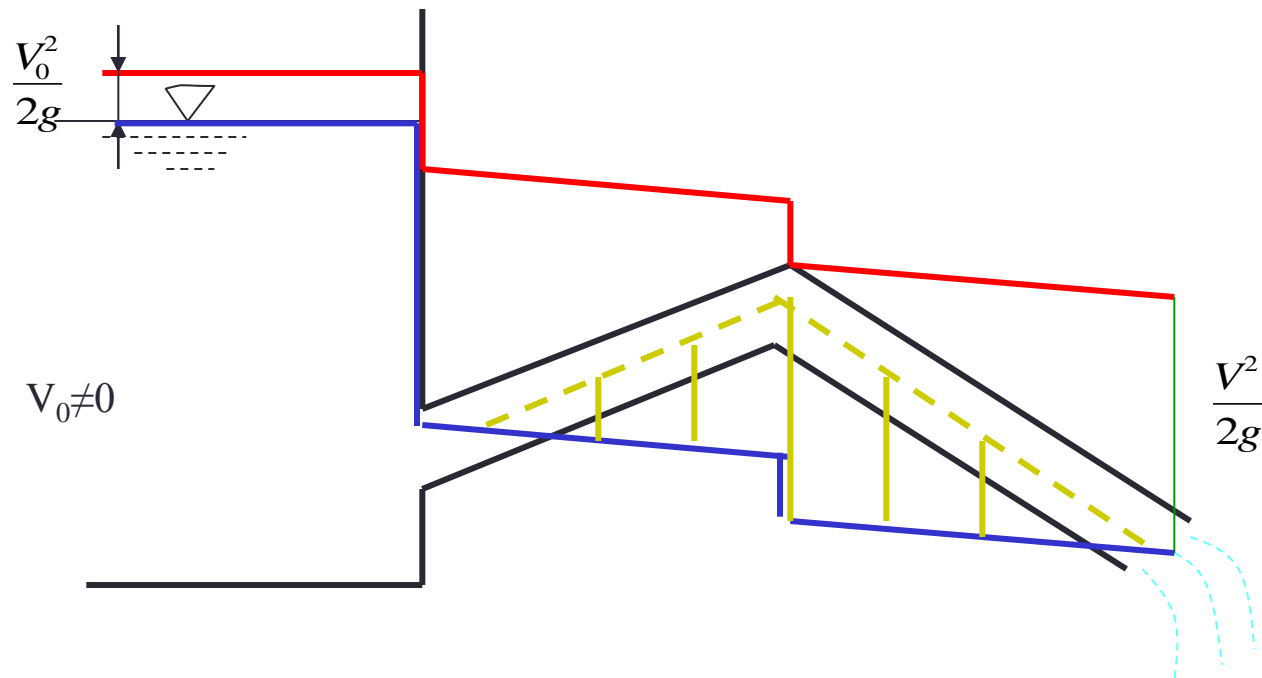
什么叫测压管水头线？

什么叫总水头线？

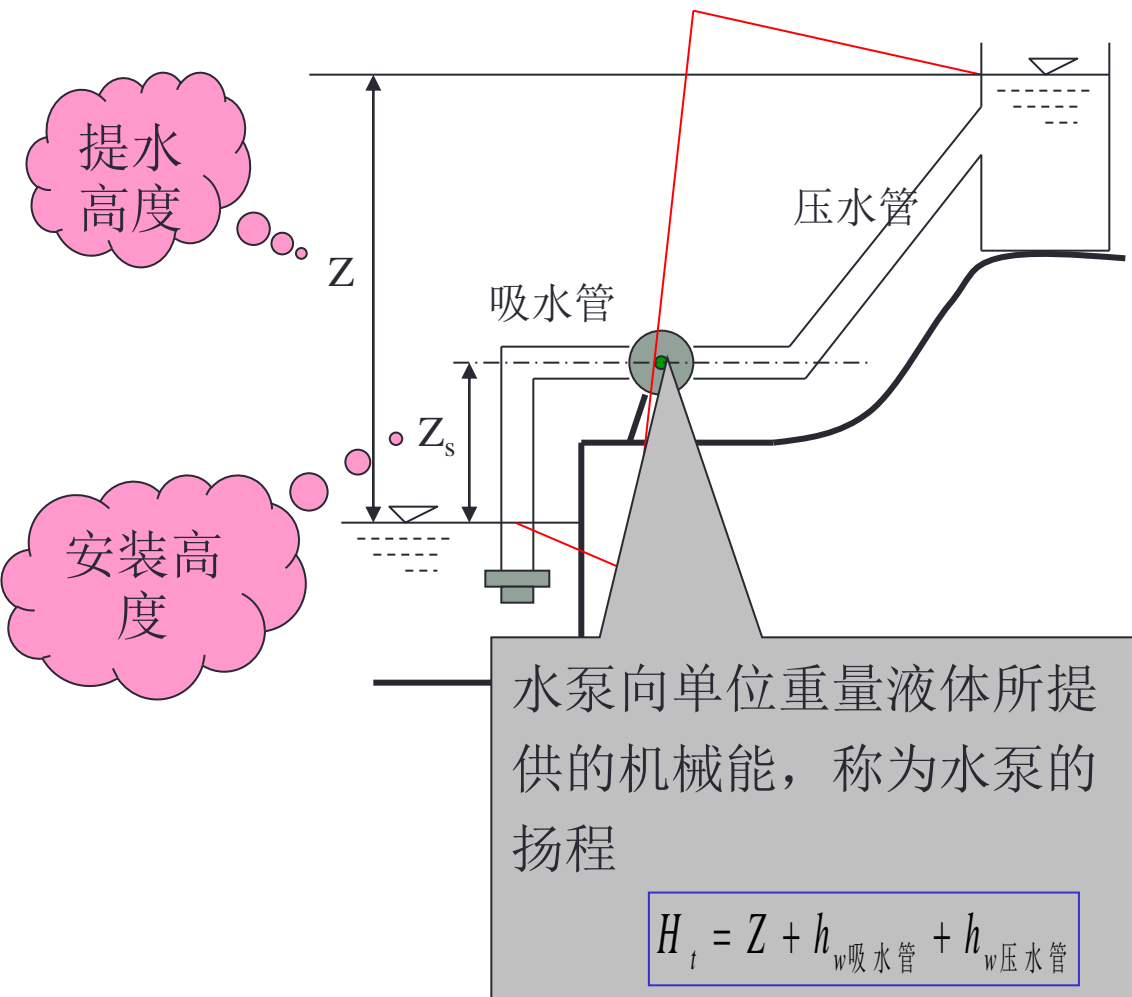
$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad z + \frac{p}{\rho g} \quad \frac{\alpha v^2}{2g}$$

两条线之间相差为流速水头！！！！

- 注意：
- 1、先画总水头线，减去相应的流速水头即为测压管水头线；
  - 2、发生沿程水头损失的地方总水头线沿程下降；
  - 3、发生局部水头损失的地方总水头线突然下降；
  - 4、注意上、下游进口、出口处的流速！



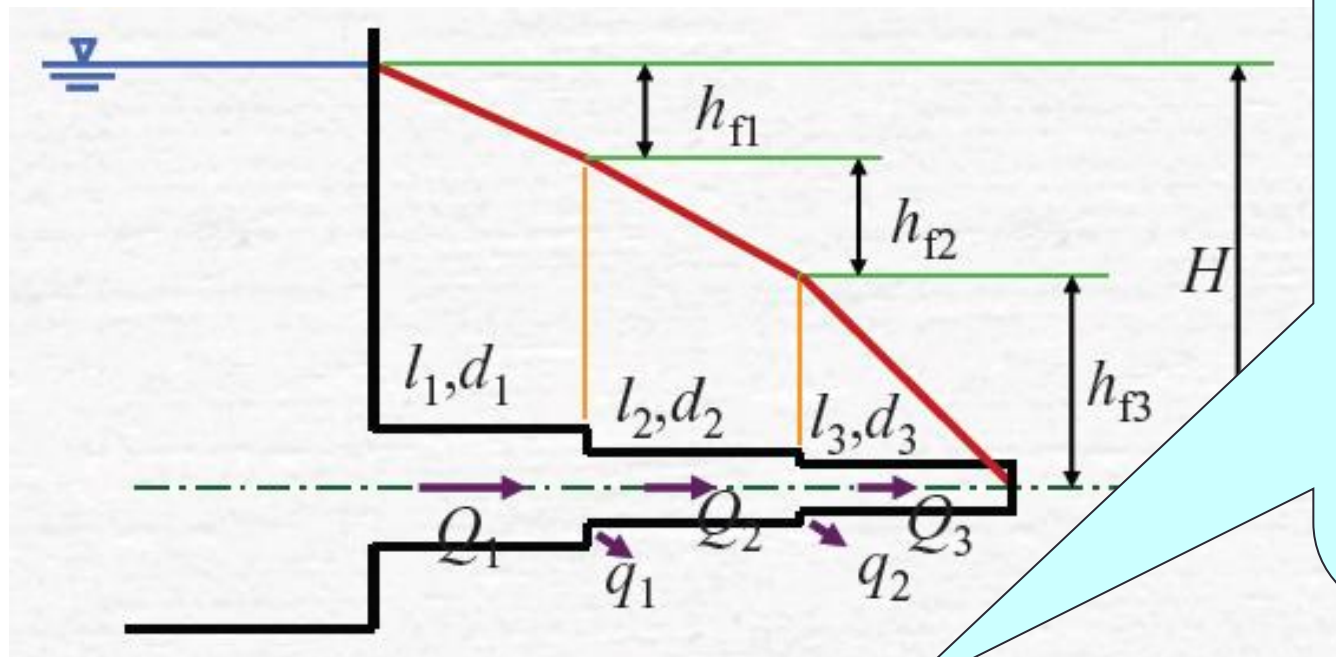
# 简单管道水力计算特例之一——水泵



通过水泵转轮转动的作用，在水泵**进口端形成真空**，使水流在池面大气压作用下沿吸水管上升，流经水泵时**从水泵获得新的能量**，从而输入压力管，再流入水塔。



## 串联管道:



$n$  段串联管道  
各段的流量、  
流速、管径、  
长度可不同，  
各段损失分  
别计算然后  
叠加

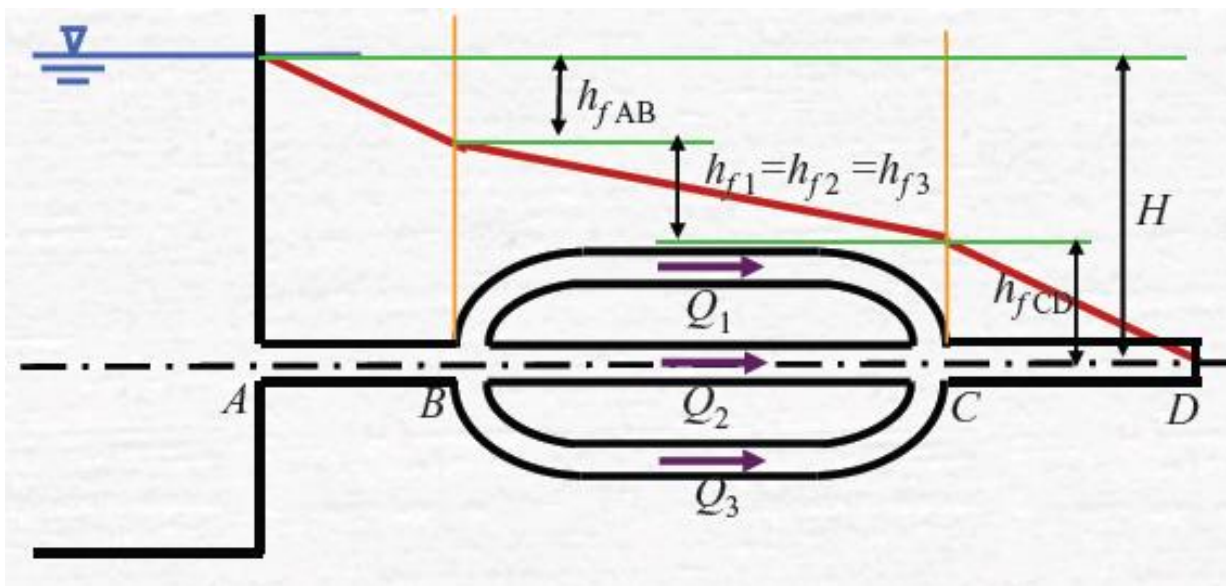
$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_j = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

$$q_i = 0 \text{ 时, } Q_i = Q$$

$$H = \sum_{i=1}^n h_{fi} + \sum_{k=1}^n h_{jk}$$

# 并联管道



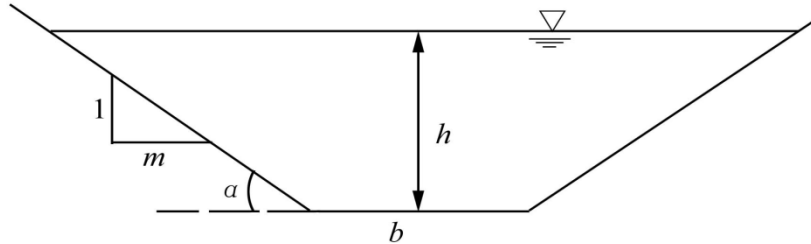
$n$  段并联管道的水头损失是相同的

$$H = h_{fi} = \frac{Q_i^2}{K_i^2} l_i \quad (n \text{ 个}) \quad \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n K_i \sqrt{\frac{h_{fi}}{l_i}} = Q \quad (1 \text{ 个})$$

# 第七章 明渠均匀流

- 概述
- 明渠均匀流的特性和形成条件
- 明渠均匀流的水力计算

# 梯形断面明渠



是最常见的人工渠道。其基本几何参数为水深 $h$ 、底宽 $b$ 和边坡系数 $m$ 。

边坡系数  $m = \operatorname{ctg} \alpha \neq \operatorname{tg} \alpha$ ，由土壤的力学性质决定。

过水断面面积  $A = (b + mh)h$

水面宽  $B = b + 2mh$

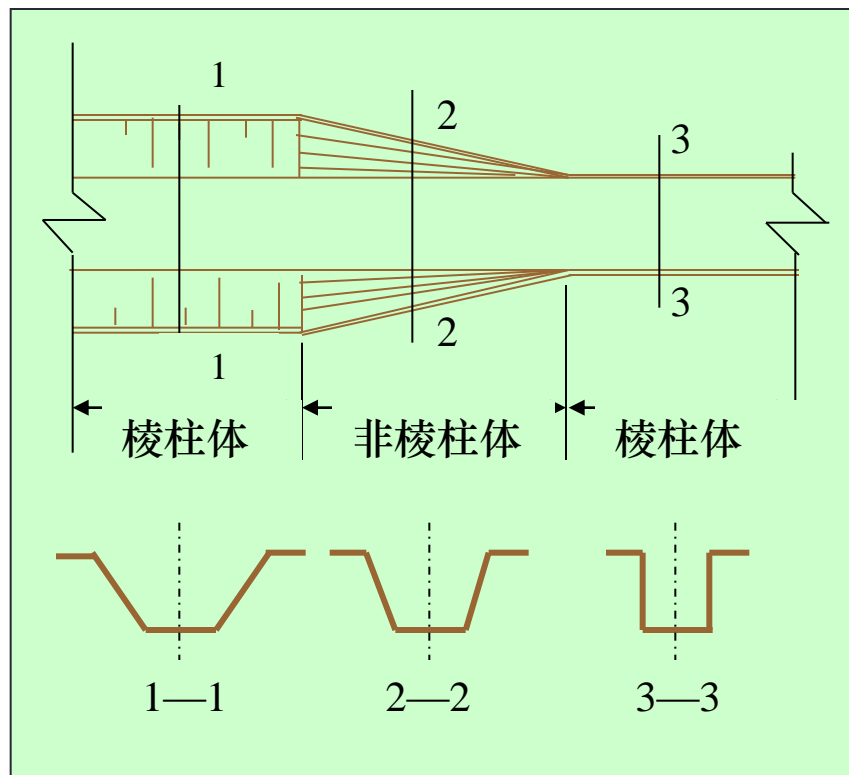
湿周  $\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$

水力半径  $R = A / \chi$ 。当 $m=0$ ，为矩形断面。

# 棱柱体明渠和非棱柱体明渠

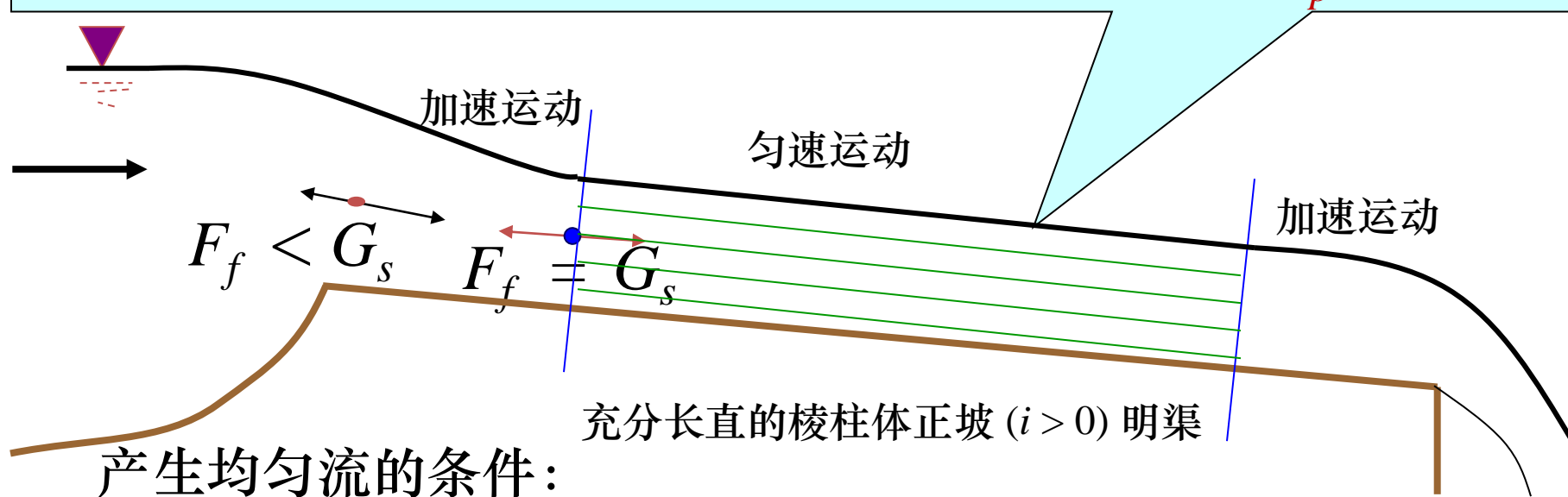
- 1、断面形状、尺寸及底坡沿程不变，同时又无弯曲的渠道，称为棱柱体渠道。  $A = A(h)$ ，多为人工渠道。
- 2、断面形状、尺寸或底坡沿程改变的渠道，称为非棱柱体渠道。

$$A = A(h, s)$$



# 明渠均匀流的特性和形成条件

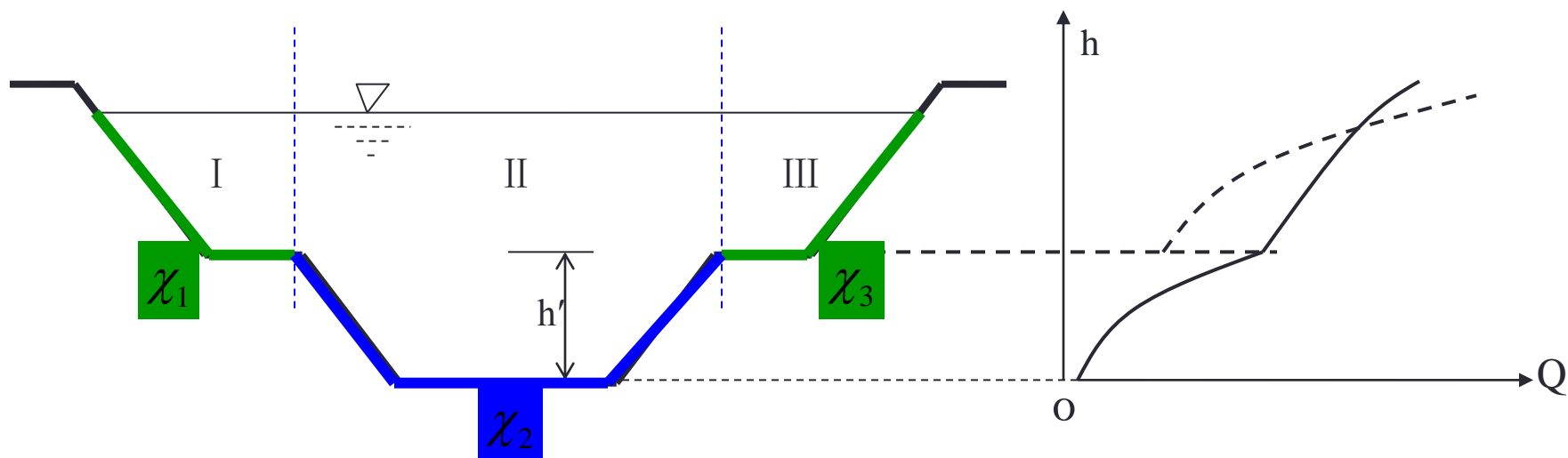
1. 过水断面的形状、尺寸及水深沿程不变。
2. 过水断面上的流速分布、断面平均流速沿程不变；因此，水流的动能修正系数及流速水头也沿程不变。
3. 总水头线、水面线及底坡线三者相互平行，即  $i = J_p = J$



- ❖ 水流应为恒定流。流量应沿程不变，即无支流。
- ❖ 渠道必须是长而直的棱柱体顺坡明渠，糙率系数沿程不变。另外渠道中无水工建筑物的局部干扰。

# 复式断面渠道的水力计算

- 渠道横断面上边坡、深度或底宽有突然变化者，就称为复式断面。
- 由于断面各部分流速差异很大，常采用分算法：



$$Q_I = A_I C_I \sqrt{R_I i}$$

$$Q_{II} = A_{II} C_{II} \sqrt{R_{II} i}$$

$$Q_{III} = A_{III} C_{III} \sqrt{R_{III} i}$$

$$Q = \sum Q_i$$

# 水力最佳断面

从经济的观点来说，总是希望所选定的横断面形状在：

通过已知流量时面积最小

——过水能力最强

或者是过水面积一定时通过的流量最大。

——工程量最小

符合这种条件的断面，称为水力最佳断面。

$$Q = AC\sqrt{Ri} = \frac{1}{n} Ai^{1/2} R^{2/3} = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3} i^{1/2}}{\chi^{2/3}}$$

所以水力最佳断面是湿周最小的断面。

圆形



# 第五章 量纲分析和相似性原理

- 量纲分析
- 相似性原理
- 模型试验

## ( 1 ) 量纲分析

- 力学中，选取

- 长度量纲  $L$

- 质量量纲  $M$

- 时间量纲  $T$  为基本量纲。

## 量纲和谐原理

凡正确反映客观规律的物理方程，其**各项（加减）的量纲一定是一致的**。如伯努利方程中的各项均具有长度量纲。

## 相似准则

由于不同流动条件下有不同力的作用，因此也就存在着不同力的相似准数，以及不同的相似准则。——考虑主要的力

**(1) 雷诺准则**：考虑原型与模型之间，**黏滯力**与惯性力的关系

$$\frac{F_{Vp}}{F_{Vm}} = \frac{F_{Ip}}{F_{Im}} \quad \text{或} \quad \frac{F_{Ip}}{F_{Vp}} = \frac{F_{Im}}{F_{Vm}}$$

根据两个力的特征量表示

$$\frac{F_I}{F_V} = \frac{\rho l^2 v^2}{\mu l v} = \frac{\rho l v}{\mu} = \frac{l v}{\nu} = Re$$

无量纲数  $\frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu} = Re$  称为雷诺数 ( Reynolds Number )。

于是原型与模型**黏滯力与惯性力之比**可表示为  $(Re)_p = (Re)_m$

原型与模型的**雷诺数**相等，两流动的**黏滯力**相似。

## (2) 弗劳德准则

考虑原型与模型之间**重力**与惯性力的关系

$$\frac{F_{Gp}}{F_{Gm}} = \frac{F_{Ip}}{F_{Im}} \quad \text{或} \quad \frac{F_{Ip}}{F_{Gp}} = \frac{F_{Im}}{F_{Gm}}$$

根据两个力的  
特征量表示

$$\frac{F_I}{F_G} = \frac{\rho l^2 v^2}{\rho g l^3} = \frac{v^2}{gl} = Fr$$

无量纲数  $Fr = \frac{v^2}{gl}$  称为弗劳德数 ( Froude Number ) 。

于是原型与模型  
**重力与惯性力之比**可表示为

$$(Fr)_p = (Fr)_m$$

这表明，原型与模型的**弗劳德数**相等，两流动的**重力**相似。

### ( 3 ) 欧拉准则

考虑原型与模型之间**压力**与**惯性力**的关系

$$\frac{F_{Pp}}{F_{Pm}} = \frac{F_{Ip}}{F_{Im}} \quad \text{或} \quad \frac{F_{Pp}}{F_{Ip}} = \frac{F_{Pm}}{F_{Im}}$$

根据两个力的特征量表示

$$\frac{F_P}{F_I} = \frac{pl^2}{\rho l^2 v^2} = \frac{p}{\rho v^2}$$

无量纲数  $Eu = \frac{p}{\rho v^2} = \frac{\Delta p}{\rho v^2}$  称为欧拉数 (Euler Number) 。

于是原型与模型**压力与惯性力之比**可表示为

$$(Eu)_p = (Eu)_m$$

这表明，原型与模型的**欧拉数**相等，两流动的**压力**相似。

# 土木199班考试

- 时间：2021年6月15日（16周周二）下午14:00-16:00
- 地点：文新106
- **闭卷！！！！**
- 带齐证件、笔、科学计算器、直尺等。

——期末考试——

请不要 **歪** 脖子



未來的你  
一定會感謝現在拚命的自己

