目录

- 第一章 绪论
- 第二章 水静力学
- 第三章 水流运动的基本原理
- 第四章 水流型态与水头损失
- 第五章 有压管道中的恒定流
- 第六章 明渠恒定均匀流
- 第七章 明渠恒定非均匀流
- 第八章 堰流与闸孔出流
- 第九章 泄水建筑物下游水流衔接与消能

shuilx@126.com

内容回顾

水力学的任务及其应用

液体的基本特性

液体主要物理力学性质

密度　容重　粘滞性　压缩性　表面张力特性

连续介质假设

理想液体的概念

作用于液体上的力

shuilx@126.com

第二章 水静力学

本章学习指导

- 本章将讨论静水压强分布规律，点压强的计算和多种平面和曲面上的静水总压力计算；
- 水静力学为水利工程计算水力荷载提供理论基础，也为学习水动力学提供必要知识。因此，应当熟练掌握基本概念 、基本公式和基本方法；
- 液体的静止有两种含义：一是绝对静止；二是相对静止。

本章重点

- 静水压强特性及有关基本概念；
- 静水压强的计算；
- 平面和曲面上静水总压力的计算 。

shuilx@126.com

一、静水压强

- 平均压强 $\bar{p} = \frac{P}{A}$

- 点压强 $p = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} (KN/m^2$或$KPa)$

二、静水压强的特性

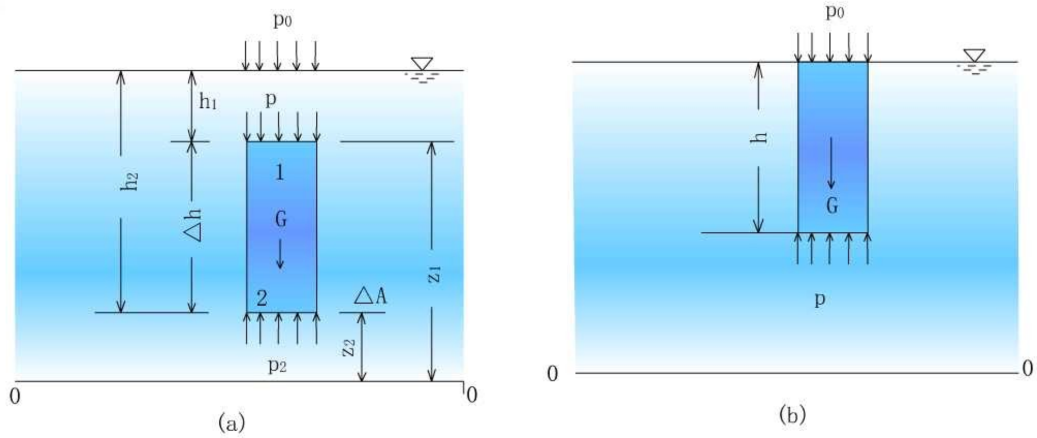
- 静水压强的方向与受压面垂直并指向受压面

- 静水中任何一点上各个方向的静水压强大小均相等

一、静水压强的基本方程

$$p_2\Delta A - p_1\Delta A - \gamma\Delta A\Delta h = 0$$

$$p_2 = p_1 + \gamma\Delta h$$



- $$p = p_0 + \gamma h$$

它表明：它表明：在静止液体中，表面的气体压强，可不变大小地传递到液体中的任何一点。（帕斯卡定律）

- $$p = \gamma h$$

它表明：表明静水中任一点的压强与该点在水下淹没的深度成线形关系。

- $$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$$

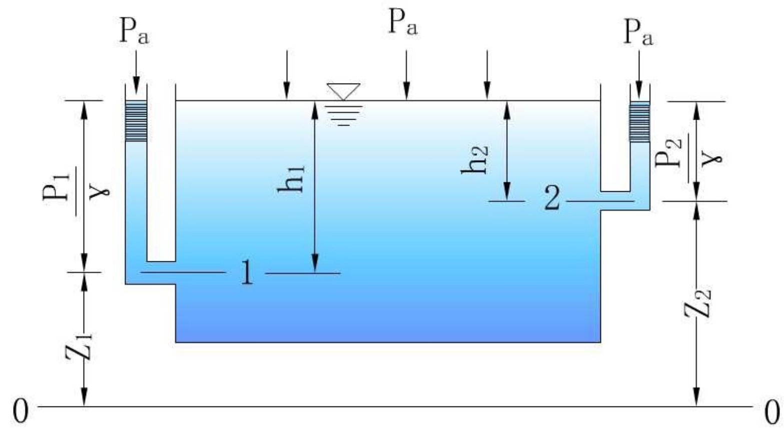
它表明：在均质、连通的静止液体中，水平面必是等压面。 （连通器原理）

shui1x@126.com

二、静水压强方程式的意义

（一）静水压强方程式的几何意义

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}$$



位置水头Z，压强水头p/r，测压管水头z+p/r

单位位能Z，单位压能p/r，单位势能z+p/r

它表明：仅在重力作用下，静止液体内任意两点的测压管水头相等。

（二）静水压强方程式的物理意义

$$z+\frac{p}{\gamma}=c$$

它表明：仅在重力作用下，静止液体内任何一点对同一基准面的单位势能为一常数。这额反映了静止液体内部的能量守恒定律。

三、绝对压强、相对压强、真空压强

（一）绝对压强 p'

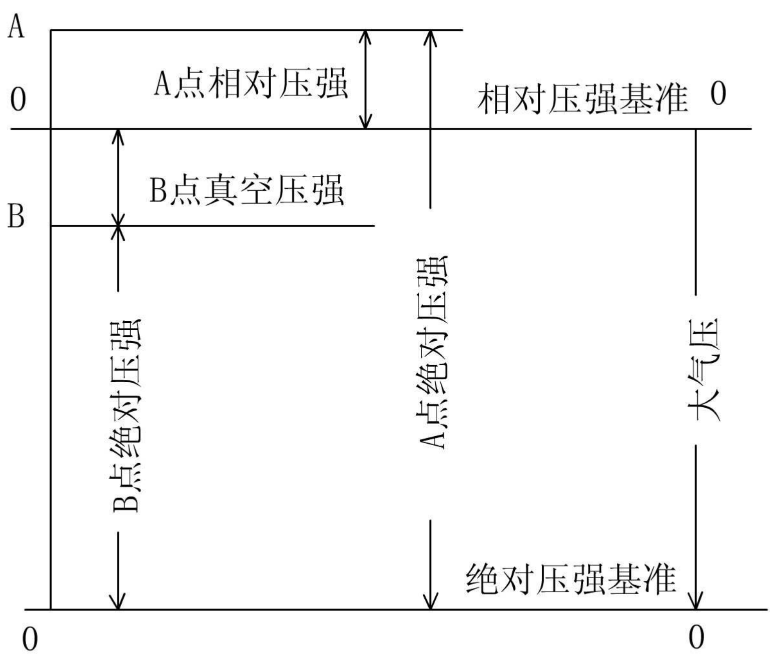
以没有空气的绝对真空为零基准计算出的压强，称绝对压强

（二）相对压强 p

以大气压作为零基准计算出的压强，称相对压强

（二）真空压强 p_v

绝对压强小于大气压的那部分压强。称真空压强

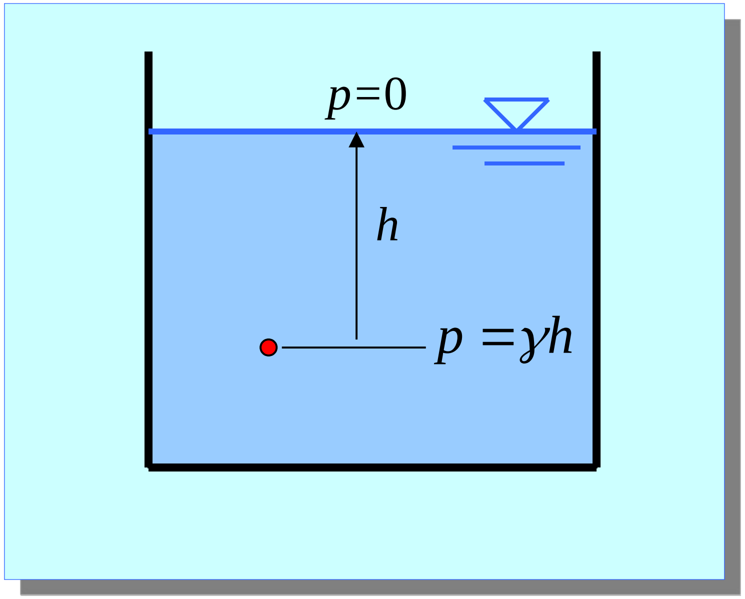


- $p = p' - p_a$
- $p_v = -p$

- 如果自由表面上压强为大气压，则液面以下 h 处的相对压强为 γh ，所以在液体指定以后高度也可度量压强，称为液柱高，例如： ××$m(H_2O)$ ， ××mm(Hg) 等。特别地，将水柱高称为水头。把真空压强转换成水柱高表示，称为真空度。

一、压强的单位

- 一个工程大气压为 98 kN/m² （KPa），相当于 10 $m(H_2O)$ 或 736 mm(Hg) 液柱高

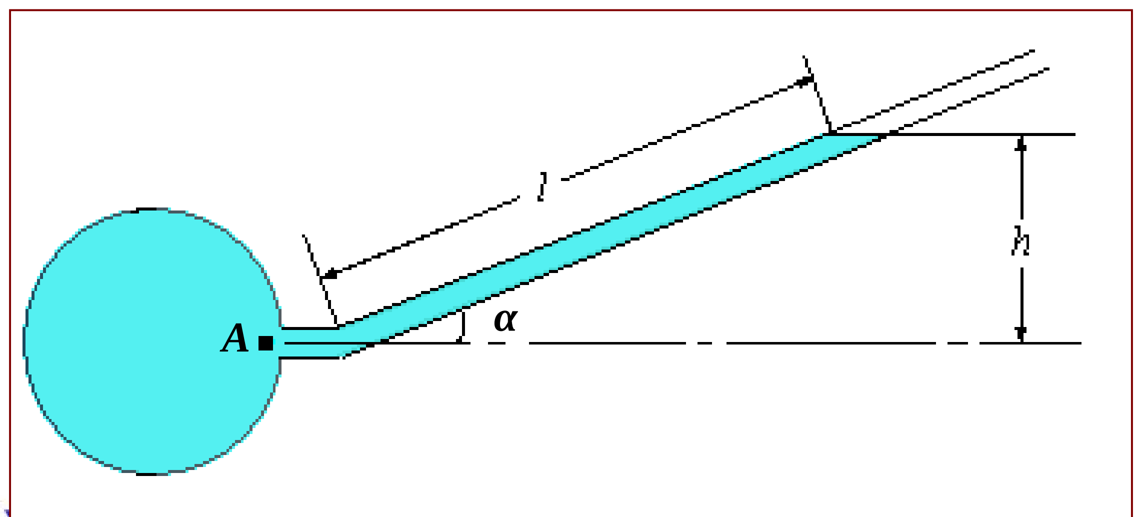


shui1x@126.com

二、压强的测量及计算

（一） 用测压管测量

测压管的一端接大气，这样就把测管水头揭示出来了。再利用液体的平衡规律，可知连通的静止液体区域中任何一点的压强，包括测点处的压强。



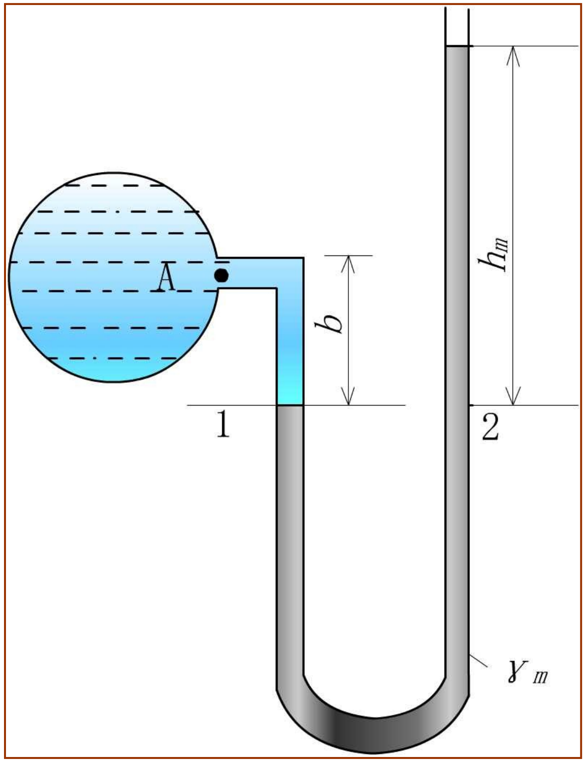
$$p_A = \gamma h$$
$$= \gamma l \sin\alpha$$

（二） U 形水银测压计

果连通的静止液体区域包括多种液体，则须在它们的分界面处作过渡。

$$p_A + \gamma b = \gamma_m h_m$$

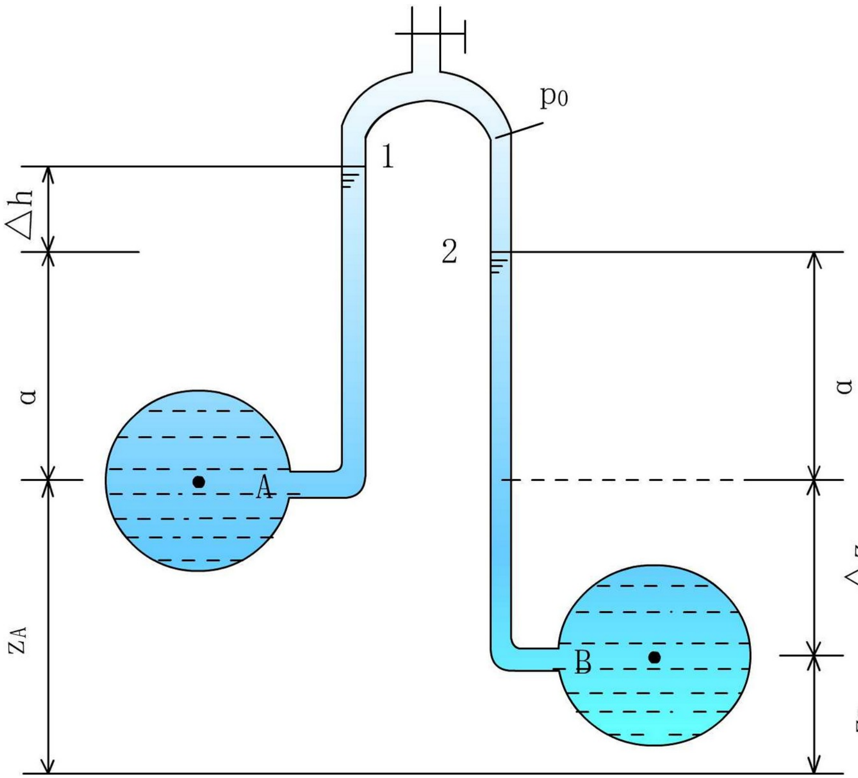
$$p_A = \gamma_m h_m - \gamma b$$



shui1x@126.com

（三）压差计（比压计）

空气比压计



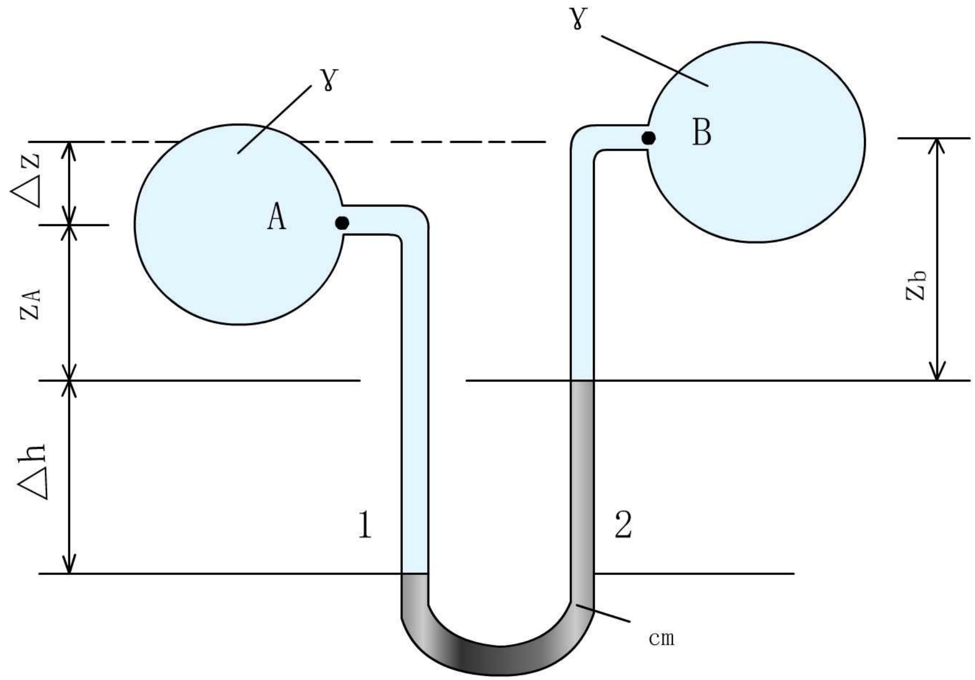
1点：$p_0 = p_A - \gamma a - \gamma\Delta h$

2点：$p_0 = p_B - \gamma a - \gamma\Delta z$

$$p_A - p_B = \gamma\Delta h - \gamma\Delta z$$

$p_A - p_B = \gamma\Delta h$（当Δz=0）

水银压差计



$$p_1 = p_A + \gamma z_A + \gamma \Delta h$$

$$p_2 = p_B + \gamma z_B + \gamma_m \Delta h$$

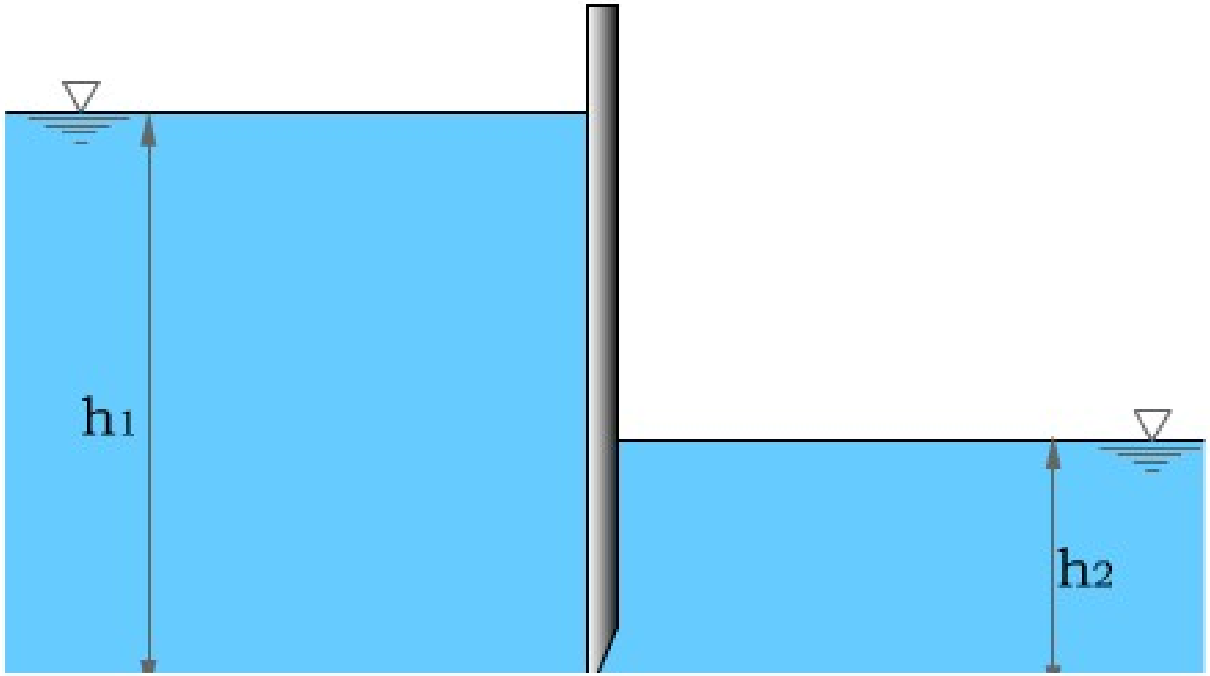
$$p_A - p_B = (\gamma_m - \gamma)\Delta h + \gamma \Delta z$$

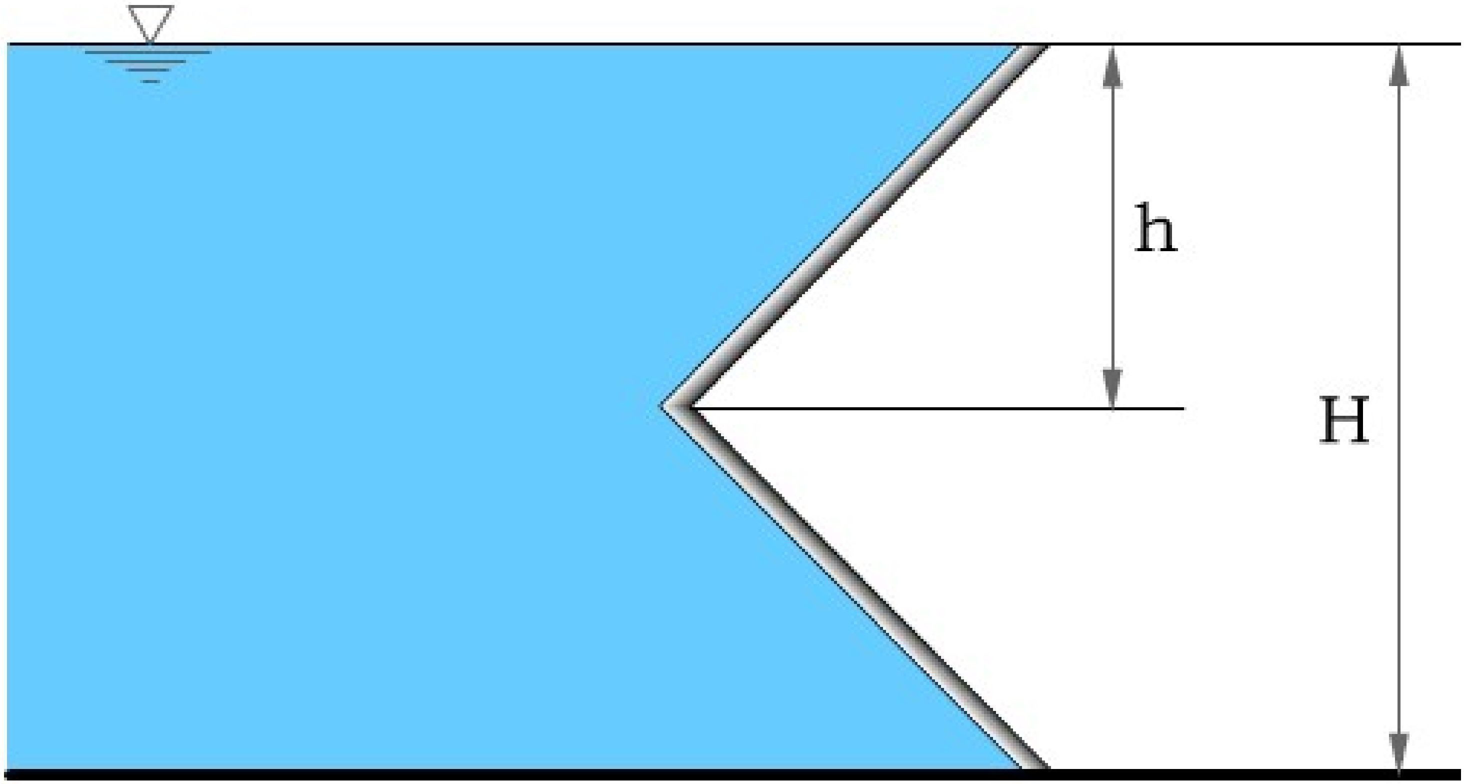
$$p_A - p_B = (\gamma_m - \gamma)\Delta h \quad （当\Delta z = 0）$$

举例

shuilx@126.com

一、静水压强的分布图



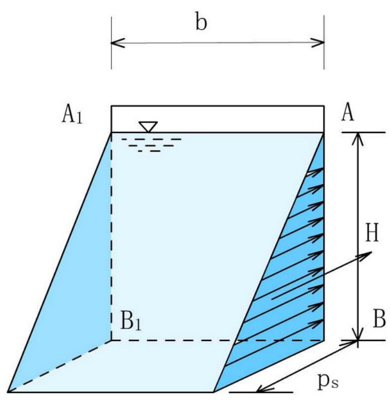


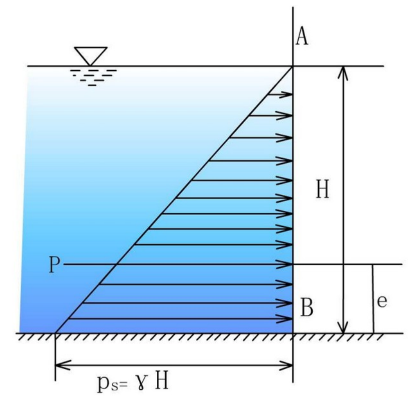
shuilx@126.com

二、矩形平面壁上的静水总压力的图解法（大小、方向、作用点）

静水总压力的大小

$$P = \Omega \cdot b \begin{cases} \text{梯形：} P = \dfrac{\gamma}{2}(h_1 + h_2) bl \\ \text{三角形：} P = \dfrac{\gamma}{2} hbl \end{cases}$$

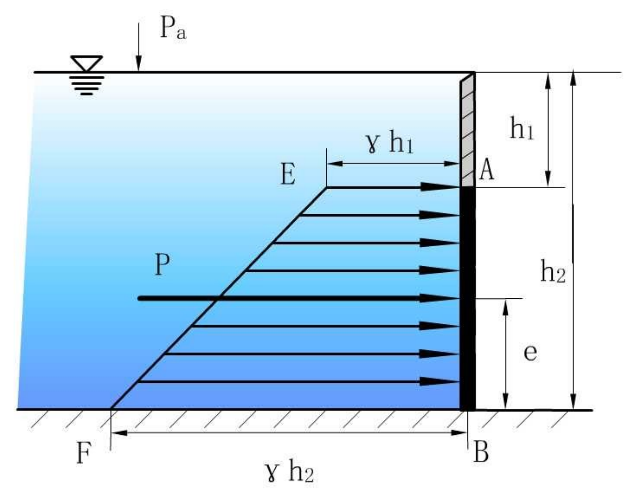




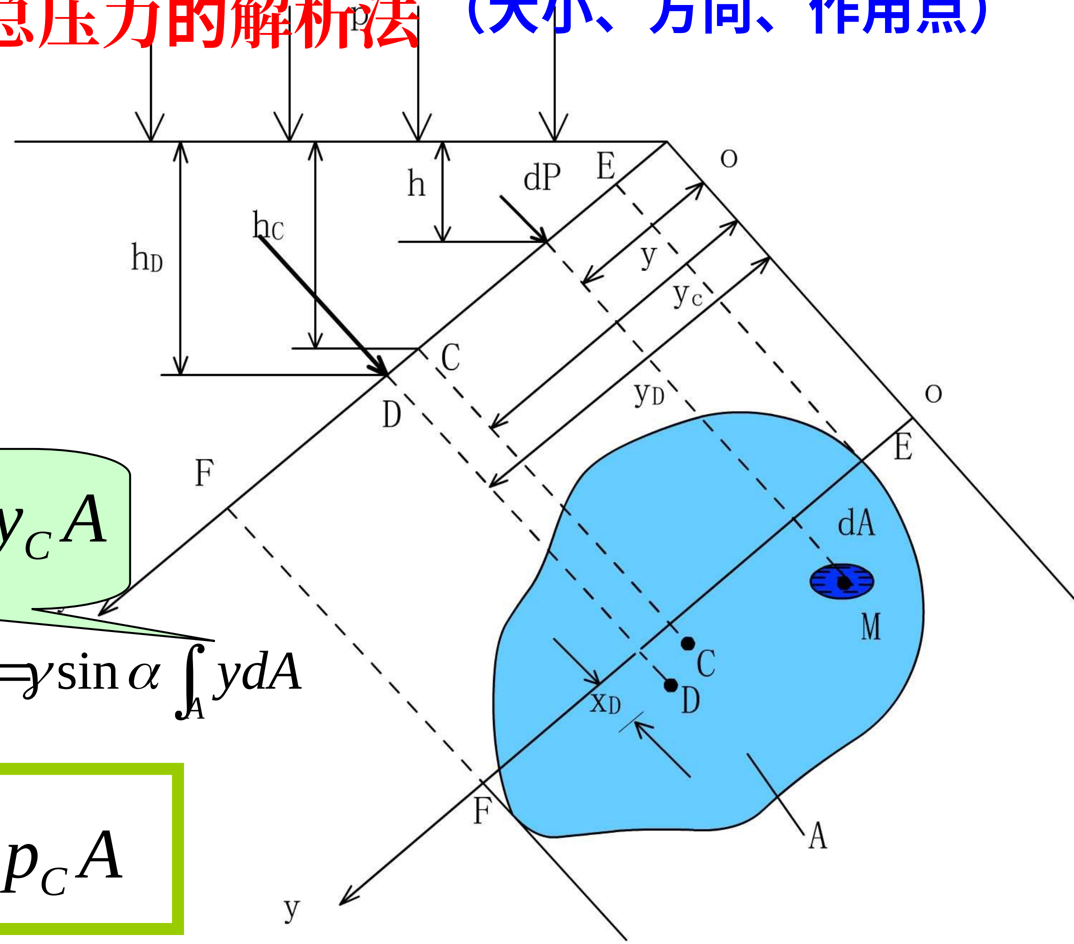
静水总压力的方向的作用点

静水总压力的方向必然垂直并指向受压平面

$$\text{梯形：} e = \frac{L}{3}\,\frac{2h_1 + h_2}{h_1 + h_2} \qquad \text{三角形：} e = \frac{L}{3}$$



二、任意形状平面壁静水总压力的解析法（大小、方向、作用点）



※ 静水总压力的大小

$$dP = pdA = \gamma hdA$$

静面矩之和，$= y_C A$

$$p = \int_A dP = \int_A \gamma hdA = \int_A \gamma y \sin\alpha dA = = \gamma \sin\alpha \int_A ydA$$

$$\boxed{P = \gamma \sin\alpha y_C A = \gamma h_C A = p_C A}$$

静水总压力的方向的作用点

惯性矩，I_{ax}

各微小面积上静水总压力 dP 对 ox 轴的力矩总和

$$\int_A y\,dP = \int_A y\gamma h\,dA = \int_A y\gamma y\sin\alpha\,dA = \gamma\sin\alpha\int_A y^2\,dA = \gamma\sin\alpha I_{ax}$$

总压力 P 对 ox 轴的力矩为 $P y_D = \gamma h_C A y_D = \gamma y_C \sin\alpha A y_D$

由合力矩定理可得 $\gamma\sin\alpha I_{ax} = \gamma y_C \sin\alpha A y_D \Rightarrow y_D = \dfrac{I_{ax}}{y_c A}$

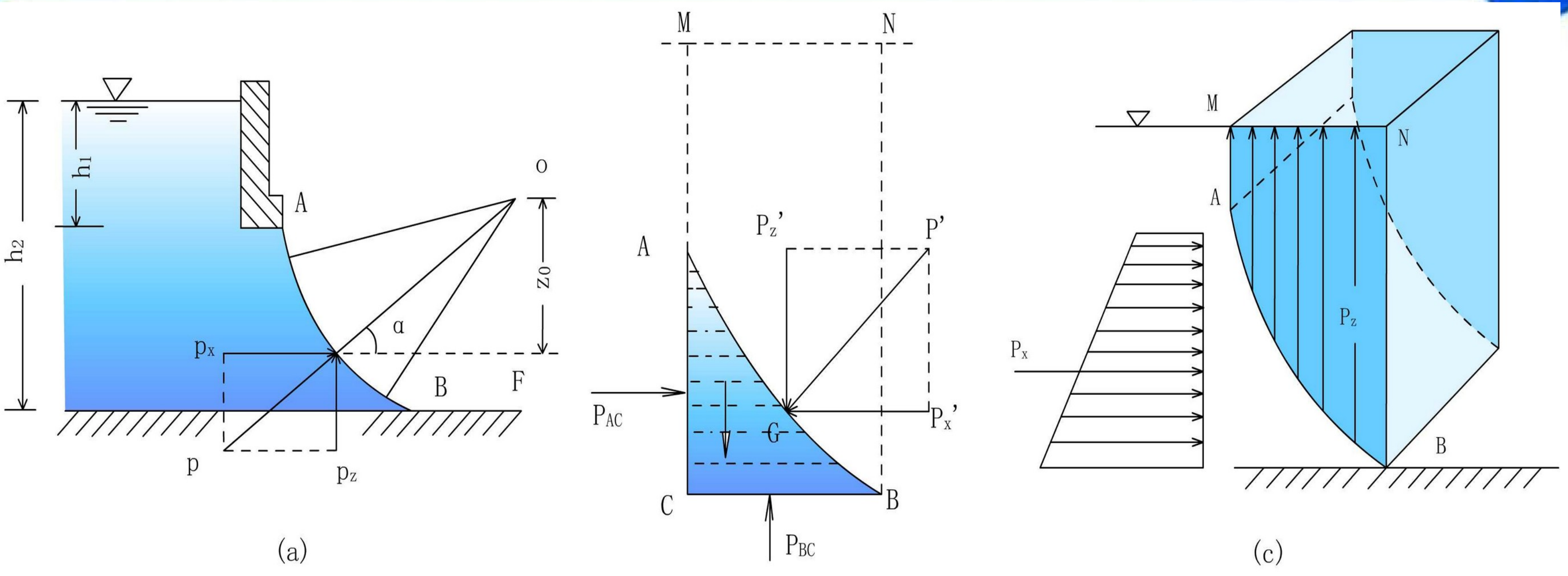
作用点 $y_D = y_c + \dfrac{I_c}{y_C A}$

$$\begin{cases} \text{圆形：} I_c = \dfrac{\pi r^4}{4} \\ \text{矩形：} I_c = \dfrac{b l^3}{12} \end{cases}$$

$$I_{ax} = I_C + y_c^2 A$$

举例

第五节 作用于曲面壁上的静水总压力



(a) (b) (c)

一、静水总压力的水平分力

$$P_x = P_{AC}$$

图解式：$P_x = \Omega b$

解析式：$P_x = p_C A$

二、静水总压力的铅直分力

$$P_Z = P_{BC} - G$$

$$= \gamma(V_{MCBN} - V_{ACB}) = \gamma V_{MABN}$$

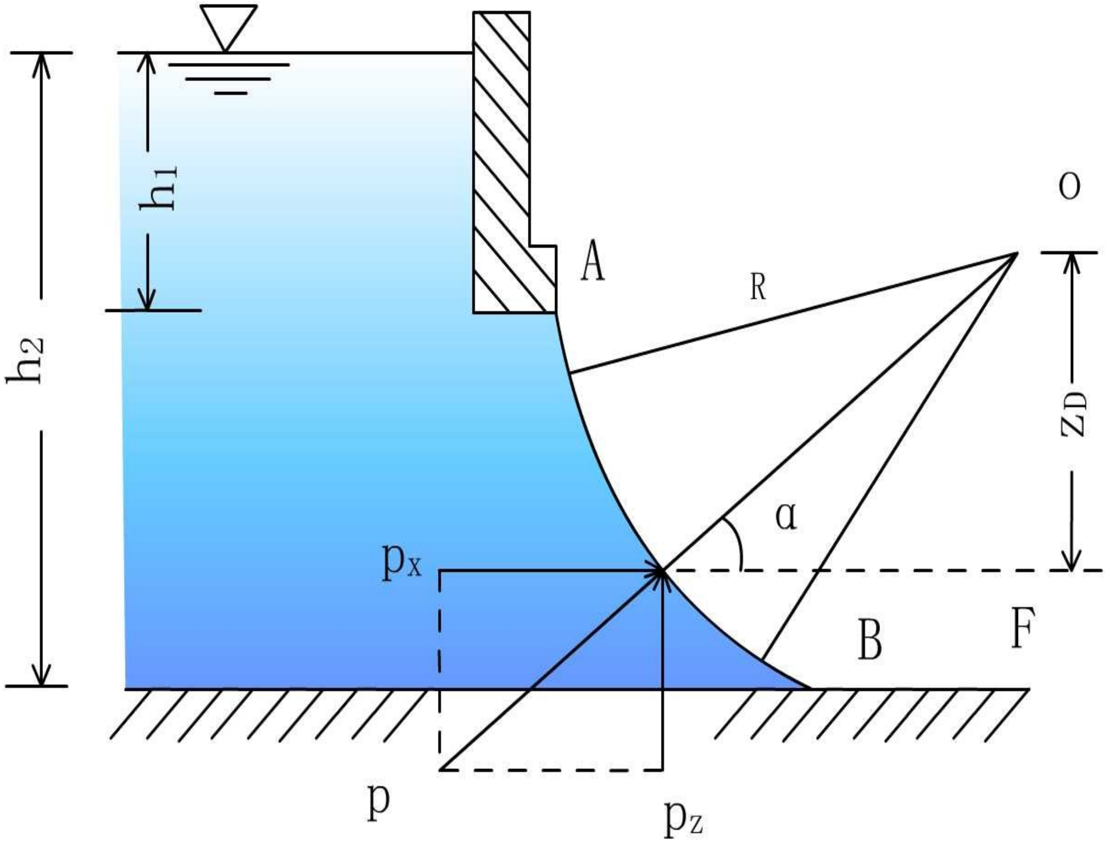
$$= \gamma A_{剖} b = \gamma V_{压}$$

三、曲面壁上的静水总压力

$$P=\sqrt{P_x^{2}+P_z^{2}}$$

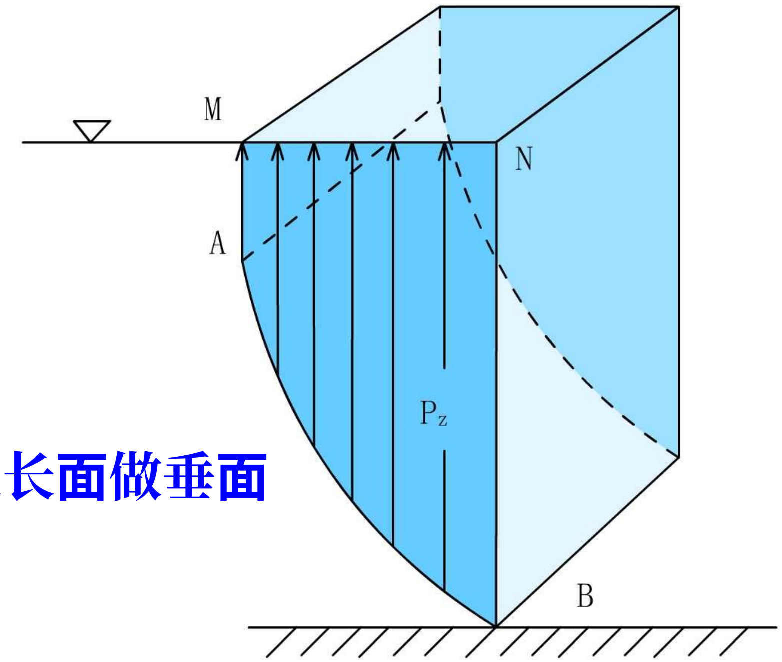
$$\alpha=arctg\frac{P_z}{P_x}$$

$$z_D=R\sin\alpha$$



四、压力体剖面图的绘制

- 底面为受压曲面本身；
- 顶面为水面或水面的延长面；
- 侧面为通过曲面壁的边缘向水面或其延长面做垂面



shuilx@126.com

静水压强及其特性

静水压强的基本规律

压强的单位和量测

测压管　　水银测压计　　差压计

作用于平面壁上的静水压力

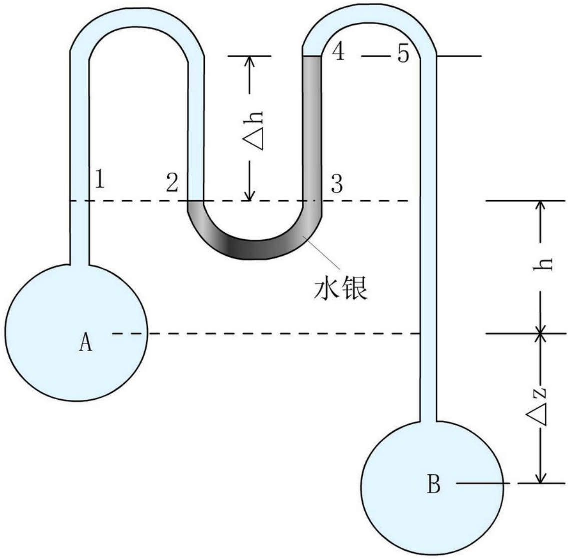
图解法　　解析法

作用于曲面壁上的静水总压力

shuilx@126.com

典型例题

[例2—1] 利用水银压差计量测量管之间A、B两点的压差时，只要测出A、B两管中水银面高差Δh，A、B两点间高差Δz。即可求得A、B两点间的压差。如图2—14中，两容器连接一水银压差计，两容器内皆为水，Δz=0.4m，Δh=0.3m，求A、B两点的压强差（p_A-p_B）。



解 取等压面1—2—3，4—5

则 $p_1=p_2=p_3 \qquad p_4=p_5$

$$p_2=p_1=p_A-\gamma h$$

$$p_4=p_5=p_B-\gamma\Delta z-\gamma h-\gamma\Delta h$$

$$p_3=p_4+\gamma_m\Delta h=p_B-\gamma\Delta z-\gamma h-\gamma\Delta h+\gamma_m\Delta h$$

由 $p_2=p_3$

整理得 $p_A-p_B=(\gamma_m-\gamma)\Delta h-\gamma\Delta z$

$$=(133.3-9.8)\times0.3-9.8\times0.4$$
$$=33.1(kpa)$$

返回

[例2－2] 如图2－2 2，若该平面为圆形平板闸门，半径 r=0.5cm，α=45度，闸门上边缘距水面深度 1m，求闸门所受静水总压力。

解：

$$h_C = 1 + r\sin\alpha = 1 + 0.5\times\sin 45^\circ = 1.35(m)$$

$$P = \gamma h_C A = 9.8\times1.35\times0.5^2\times3.14 = 10.39(kN)$$

$$I_C = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{1}{4}\times3.14\times0.5^4 = 0.049(m^4)$$

$$y_C = \frac{1}{\sin\alpha} + r = \frac{1}{\sin 45^\circ} + 0.5 = 1.91(m)$$

$$y_D = y_C + \frac{I_C}{y_C A} = 1.91 + \frac{0.049}{1.91\times3.14\times0.5^2} = 1.94(m)$$

shuilx@126.com

[例 2-3] 如图 2-25 弧形闸门，R=0.6cm，门宽 b=4.0m，闸前水深 H=4.8m，门轴直径 d=16.0cm，闸门中心与水面同高，闸门自重 G=294kN，其重心位于 r=0.8R 处，用钢索提升闸门，门轴转动摩擦系数 f=0.3．试求：(1)作用于弧形闸门上的静水总压力；(2)开启闸门的提升力 T。

解　(1) 求 P 的大小、方向：

水平分力　$P_x = \gamma h_C A = \frac{1}{2}\gamma H^2 b = \frac{1}{2}\times 9.8\times 4.8^2\times 4 = 451.8(kN)$

铅直分力　$P_x = \gamma A_{翘} b = \gamma(\text{扇形面积} - \Delta BOC\text{面积})\times b$

$\sin\varphi = \frac{H}{R} = \frac{4.8}{6} = 0.8$，所以 $\varphi = 53.13^\circ$

扇形面积$= \frac{\pi R^2}{360^\circ}\varphi = \frac{3.14\times 6^2}{360^\circ}\times 53.13^\circ = 16.68(m^2)$

$OC = R\cos\varphi = 6\times\cos 53.13^\circ = 3.6(m)$

$\Delta BOC\text{面积} = \frac{1}{2}H\times OC = 1/2\times 4.8\times 3.6 = 8.64(m^2)$

则　$P_z = 9.8\times(16.68 - 8.64)\times 4 = 315.17(kN)$

总压力　$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} = \sqrt{451.58^2 + 315.17^2} = 550.69(kN)$

$$\alpha = arctg\frac{P_z}{P_x} = arctg\frac{315.57}{451.58} = 34.9^\circ$$

典型例题

（2） 求 T:

T 对圆心的力矩应等于重力 G 和总压力 P 对圆心的阻力矩，才可以提起闸门。

P 对轴的摩擦力矩为$Pf\dfrac{d}{2}$ 。

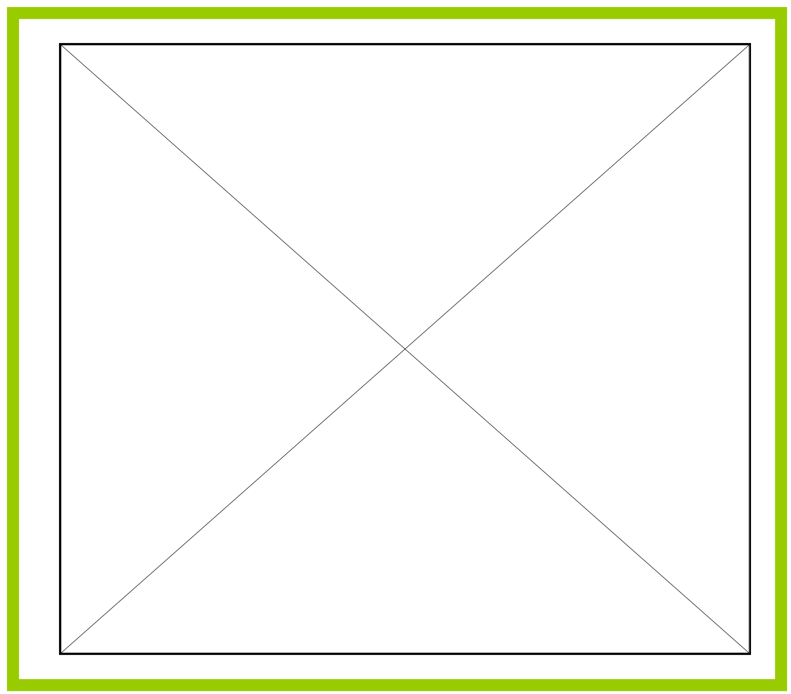
重力对轴的力矩为Gl，其中$l = r\cos\dfrac{\varphi}{2} = 0.8\times 6\times\cos\dfrac{53.13^{\circ}}{2} = 4.29(m)$

由合力矩定理得 $$TR = Pf\frac{d}{2} + Gl$$

则 $$T = \frac{Pf\dfrac{d}{2} + Gl}{R} = \frac{550.69\times 0.3\times\dfrac{0.16}{2} + 294\times 4.29}{6} = 212.4(kN)$$

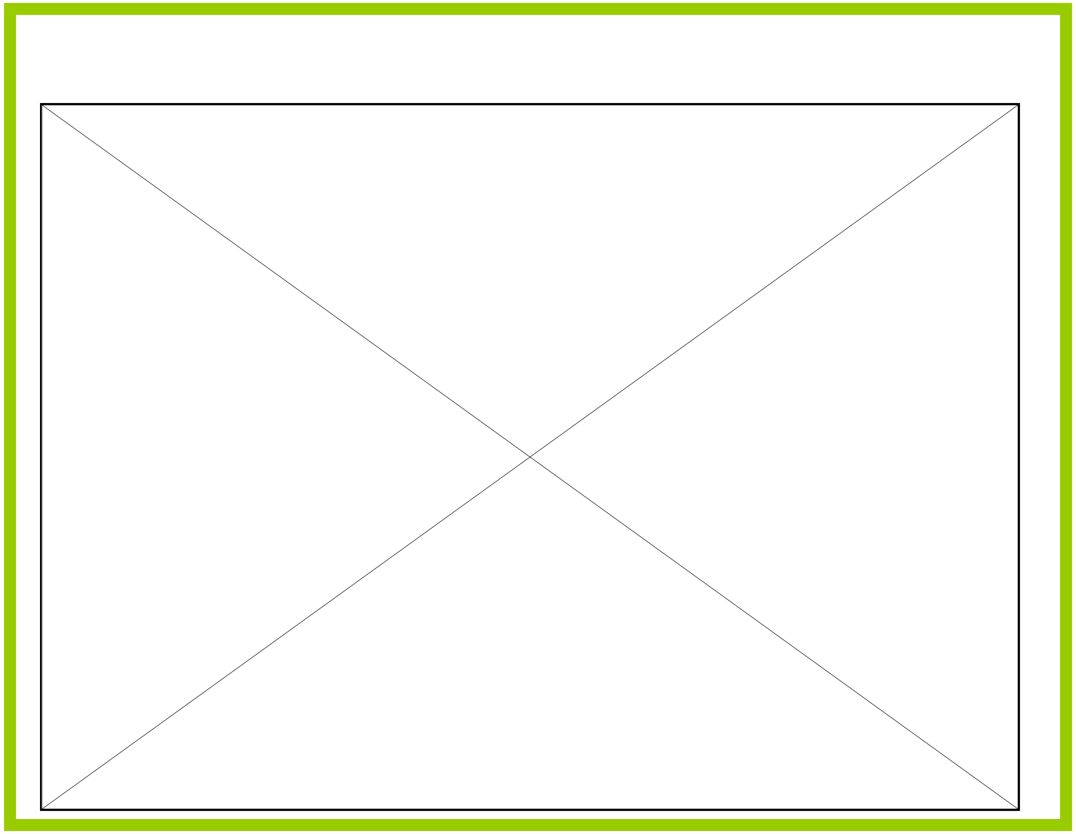
shuilx@126.com

复杂柱面的压力体绘制之一



继续

复杂柱面的压力体绘制之二



返回