



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2章 流体静力学

内容：2.4 静止流体作用在曲面上的合力大小
和压力中心位置



静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

曲面
大坝



桥墩





静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

船舶与海洋工程



船体



潜艇壳体



船舶液货舱

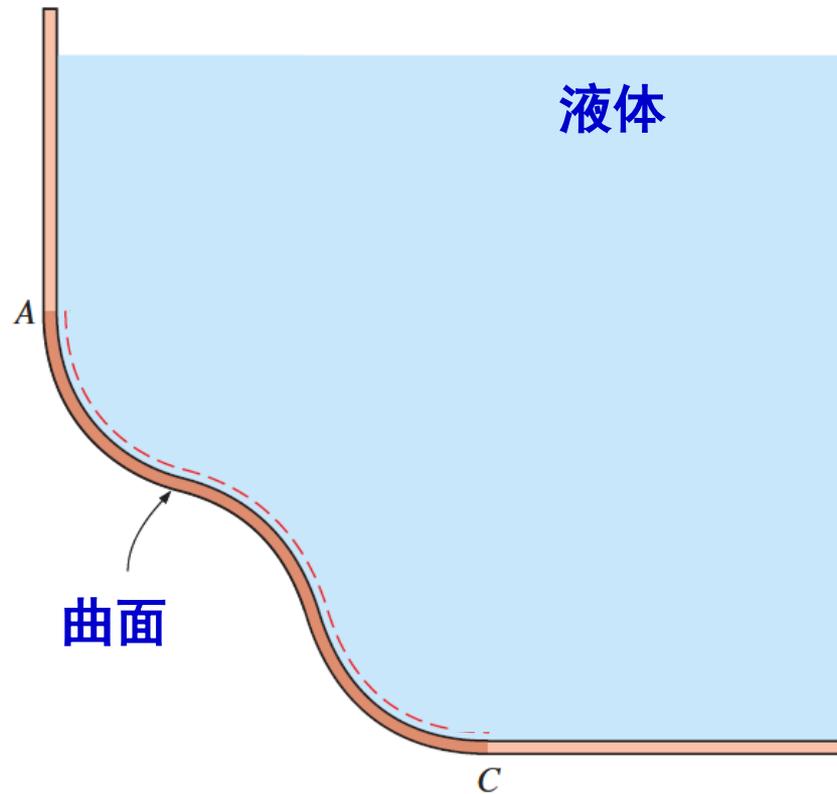


海洋平台支柱



1) 液体位于曲面上方

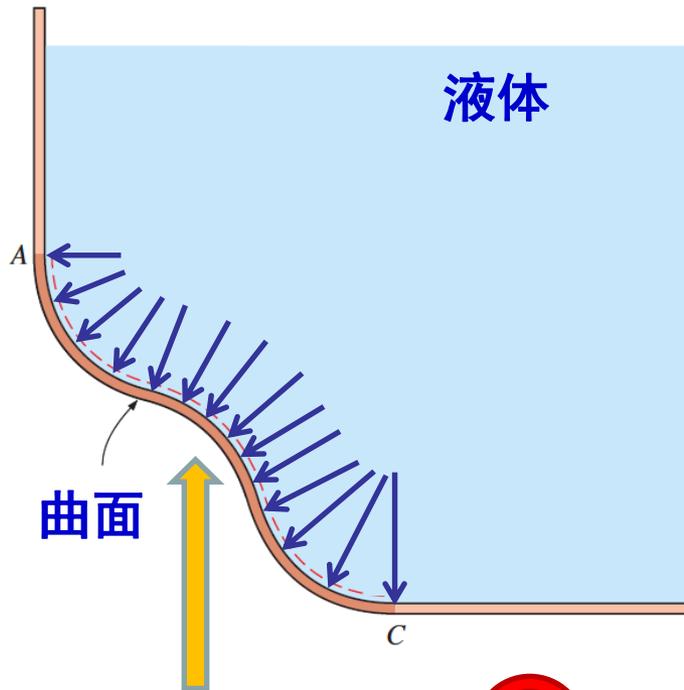
求作用在曲面AC上的静压力的合力 F_R



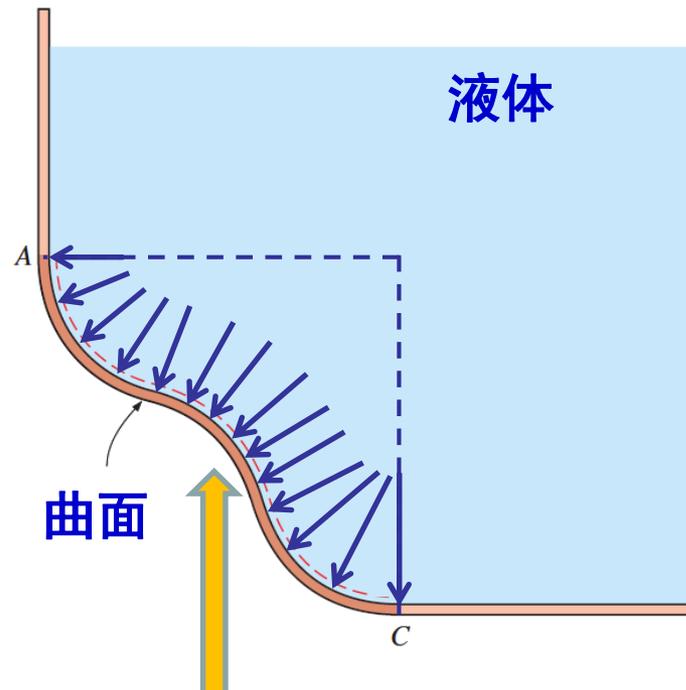


1) 液体位于曲面上方

根据流体静力学的基本方程，得到曲线上的静压力分布。
不管是根据曲面受力分析，还是采用压力体方法，都要对曲面进行积分运算，**计算复杂**。



压力分布 ▶ 求积分



压力体 (虚线区域) ▶ 求积分

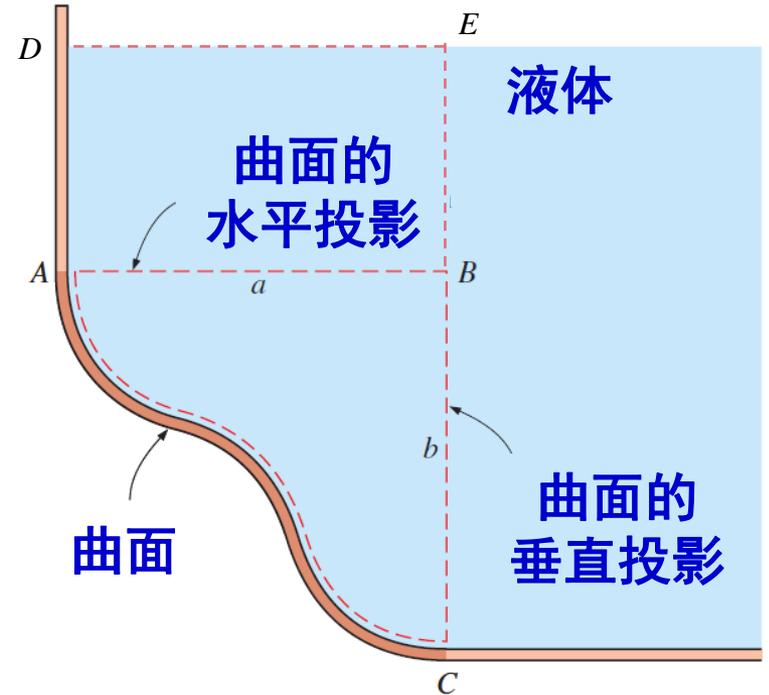




静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

由于曲面几何的复杂性，为了便于计算，我们将作用在曲面AC上的静压力的合力 F_R 分解为**水平分量 F_H** 和**垂直分量 F_V** 两个部分。

每个分量通过计算曲面静压力在相应平面上的投影得到。



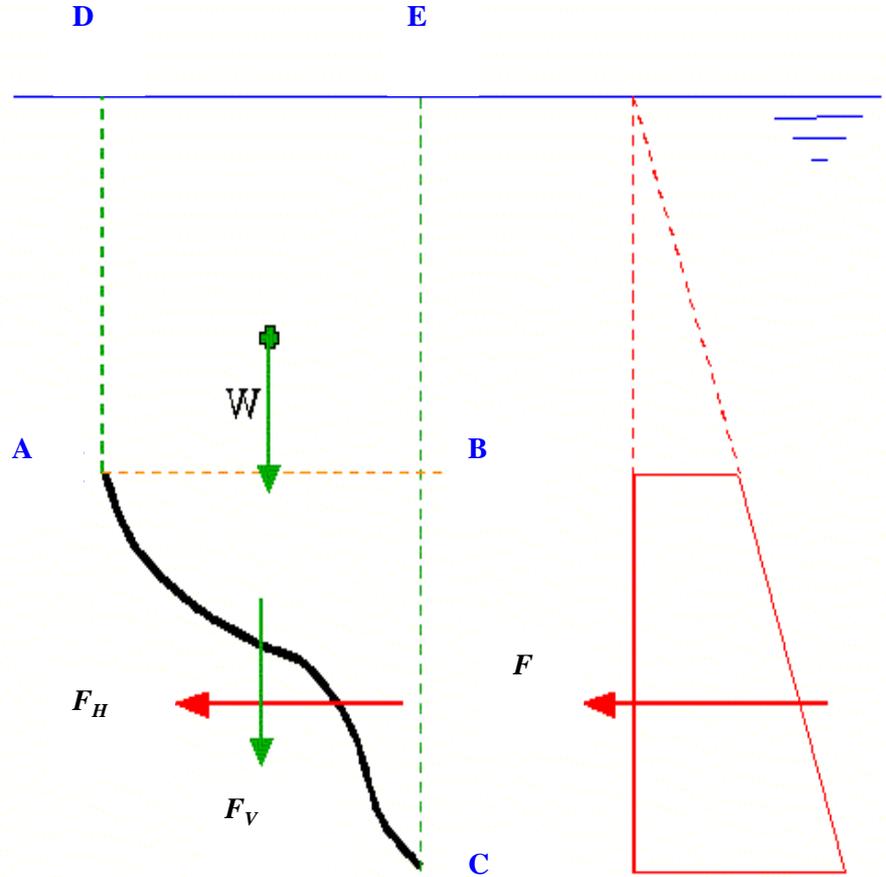


静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

曲面受力的水平分量：

考虑到区域ABC中的液体处于平衡状态, 因而可以得到:

$F_H = F =$ 液体作用在垂直投影面(BC)上的合力, 且通过力的作用中心



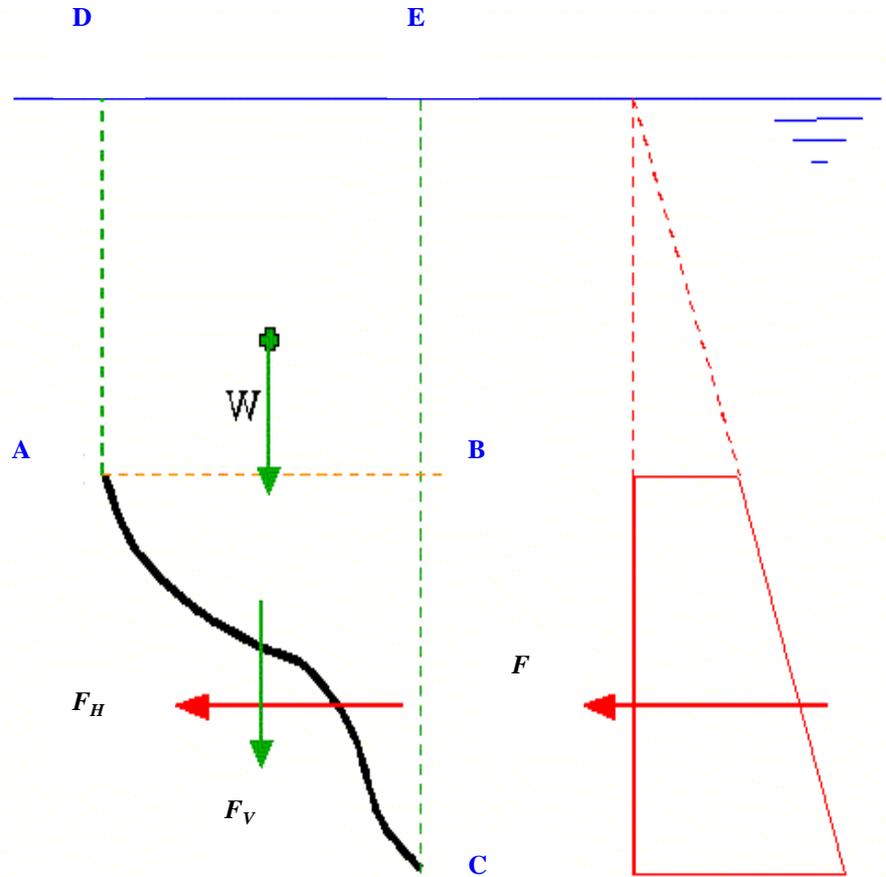


曲面受力的垂直分量

考虑到区域ADEC中的液体处于平衡状态

因而可以得到：

$F_V = W$ = 垂直于曲面并在曲面上方ADEC区域内液体的重量， F_V 通过该部分液体的重心。





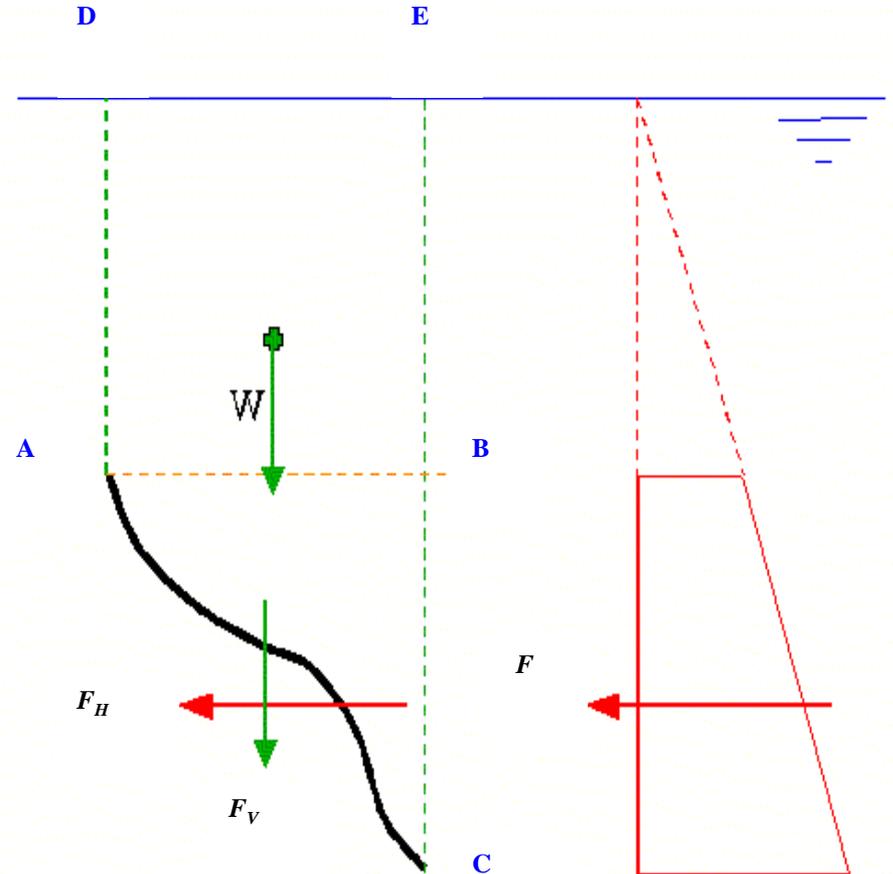
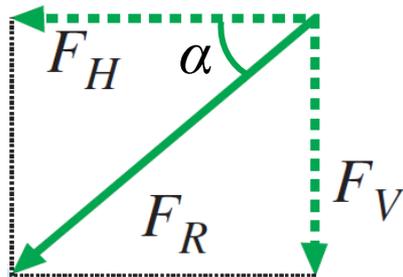
静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

合力:

$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

合力斜向下，且与水平方向的夹角为 α

$$\alpha = \tan^{-1}(F_V / F_H)$$

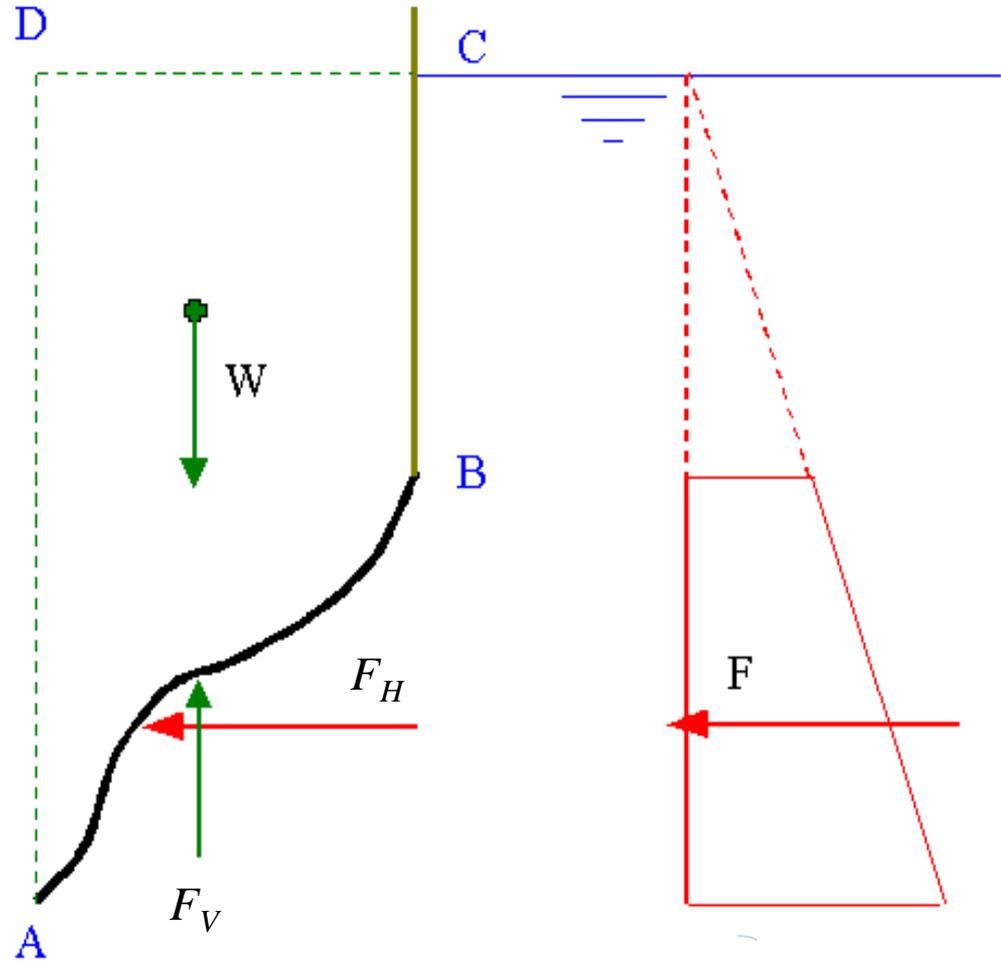




2) 液体位于曲面下方

假设液体位于曲面AB下方，求作用于曲面AB与液体接触的下表面的所受的静压力的合力。

其中，曲面AB上方的空间ABCD内可能是空的，也可能包含其他流体。





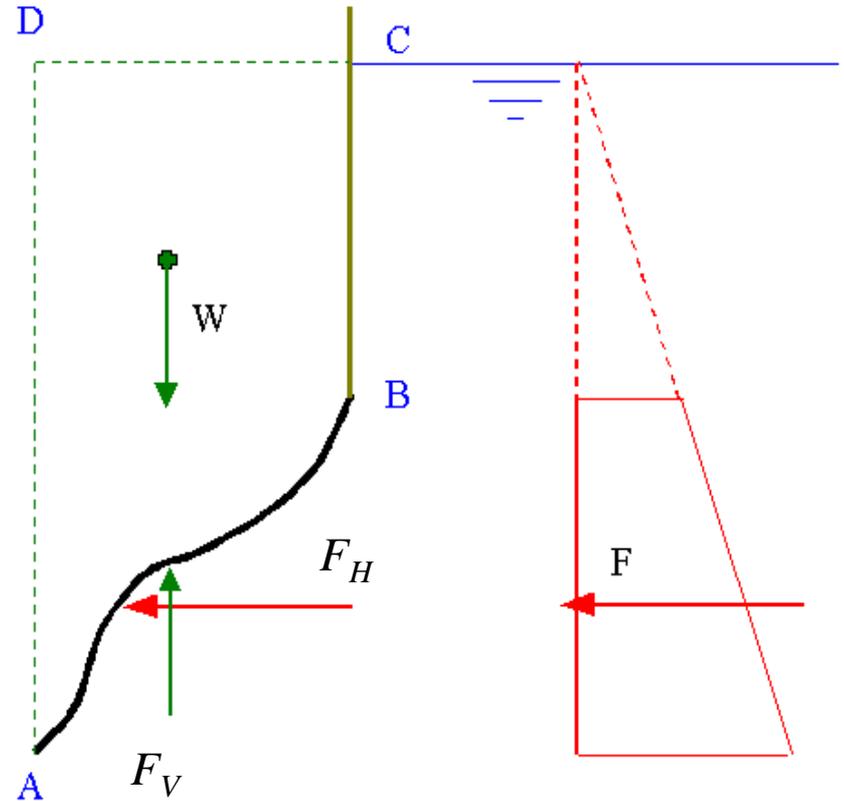
静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

假设曲面AB上方的空间(ADCB)与其下方空间都充满了相同的流体。

这样就可以在不破坏流体平衡的情况下**去掉**曲面AB。

这样一来，在这个假设前提下，作用在曲面AB下表面的静压力与作用在其上表面的静压力**达到平衡**。

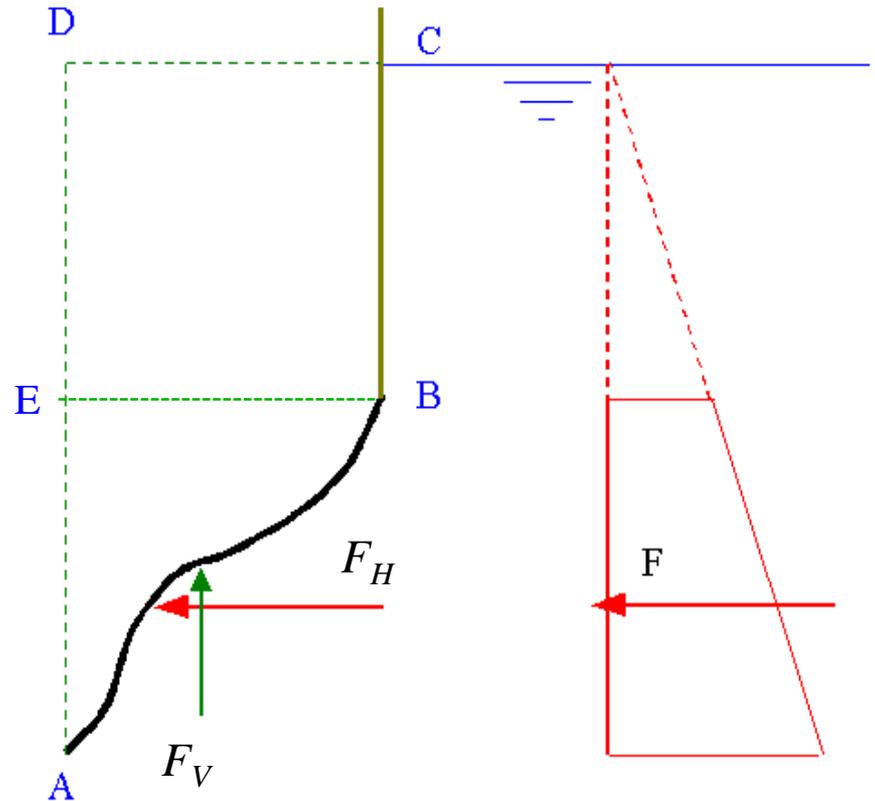
因此，可以使用与前一种情况相同的方法来计算静压力的合力：





静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

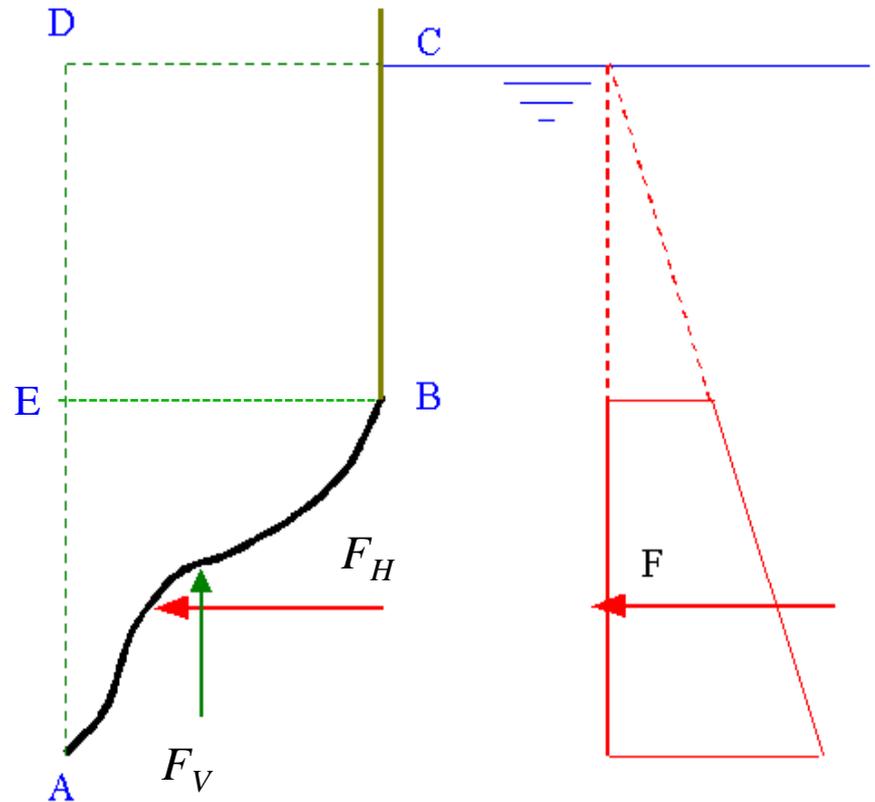
画出曲面AB在水平方向和垂直方向上的投影，分别是：
BE和AE





曲面受力的水平分量：

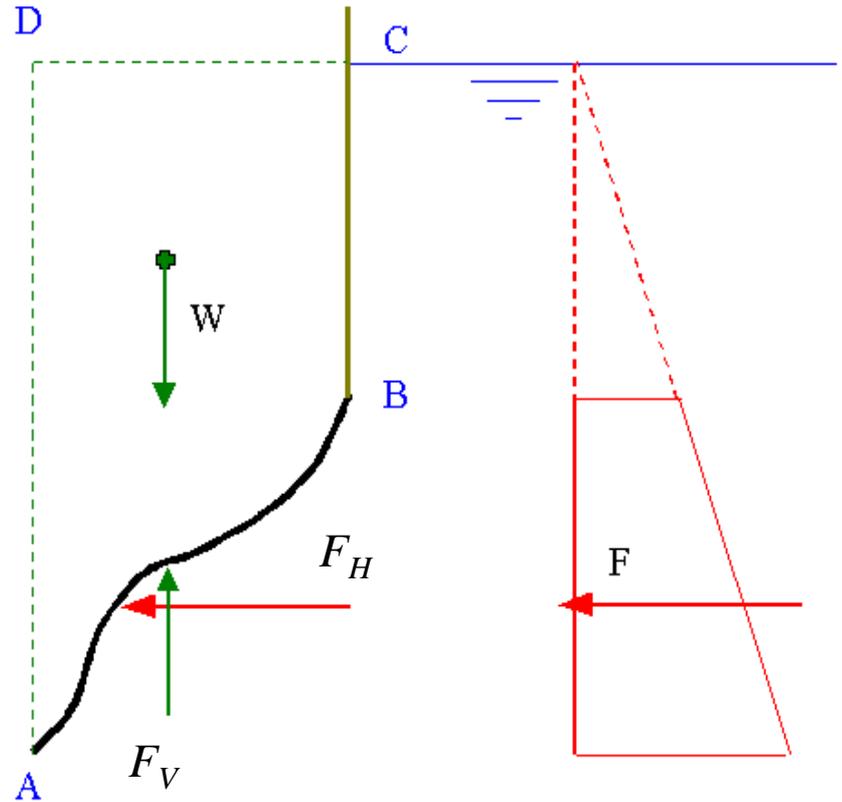
$F_H = F =$ 液体作用在垂直投影面AE上的合力，且通过力的作用中心。





曲面受力的垂直分量

$F_V = W =$ 假想空间 (ADCB)
内液体的重量，并通过该部
分液体的重心。





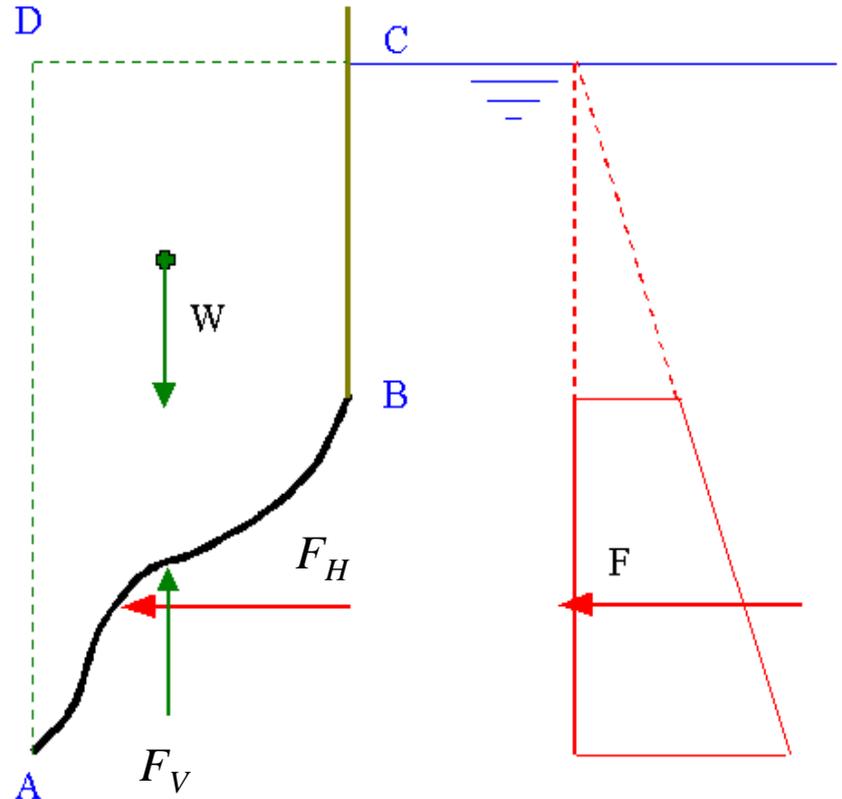
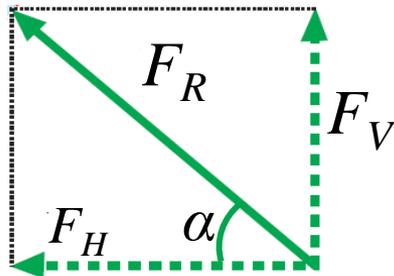
静止流体作用在曲面上的合力大小和压力中心位置

静止流体作用在曲面上的合力:

$$F_R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2}$$

合力斜向上，且与水平方向的夹角为 α

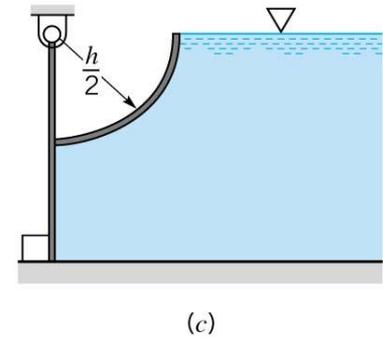
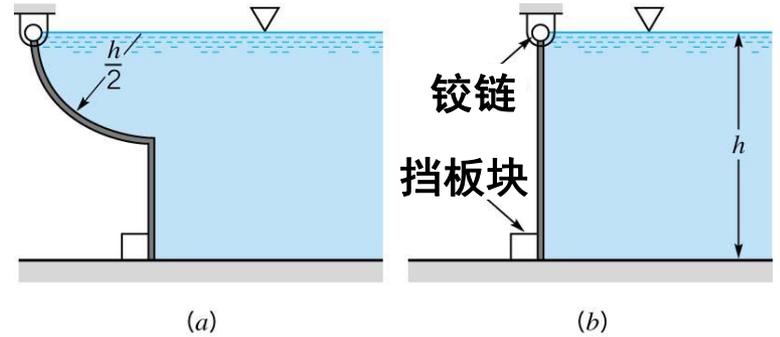
$$\alpha = \tan^{-1}(F_V / F_H)$$





例题

如图所示三个挡水的闸门，闸门的宽度为 b ，不考虑闸门的重量，已知图(b)中的闸门左下角的挡板块受到的力为 R ，请问图(a)和(c)的闸门左下角的挡板块受到的力分别为多少？

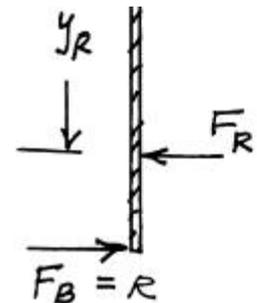


解：对图(b)，闸门受到水的总压力为

$$F_R = R = \gamma h_c A = \gamma \left(\frac{h}{2} \right) (h \cdot b) = \frac{\gamma h^2 b}{2}, \quad y_R = \frac{2}{3} h$$

根据力矩平衡原理，有：

$$F_B h = F_R y_R = \left(\frac{\gamma h^2 b}{2} \right) \left(\frac{2}{3} h \right) \Rightarrow F_B = R = \frac{\gamma h^2 b}{3}$$





对图(a)，闸门受到水的总压力仍为：

$$F_R = \gamma h_c A = \gamma \left(\frac{h}{2} \right) (h \cdot b) = \frac{\gamma h^2 b}{2}, \quad y_R = \frac{2}{3} h$$

四分之一半圆的流体重量：

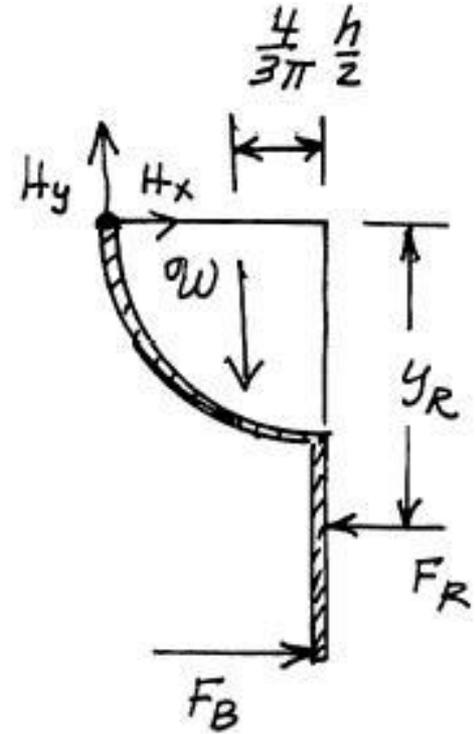
$$W = \gamma \times V = \gamma \left[\frac{\pi (h/2)^2}{4} b \right] = \frac{\pi \gamma h^2 b}{16}$$

根据力矩平衡原理，有：

$$F_B h = F_R \left(\frac{2}{3} h \right) + W \left(\frac{h}{2} - \frac{4h}{6\pi} \right) \Rightarrow \frac{\pi \gamma h^2 b}{16} \left(\frac{h}{2} - \frac{4h}{6\pi} \right) + \frac{\gamma h^2 b}{2} \left(\frac{2}{3} h \right) = F_B h$$

所以有：

$$F_B = \gamma h^2 b (0.390) = 3R (0.390) = 1.17 R$$





例题

对图(c), 由于圆弧部分受力通过铰链支点, 对铰链支点的力矩没有贡献。对于水下直板部分的闸门受到水的总压力为:

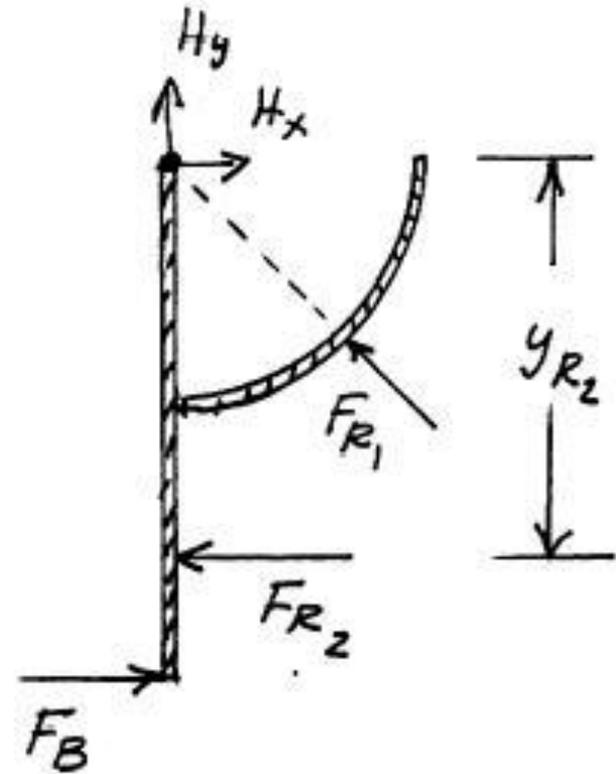
$$F_{R_2} = \gamma h_c A = \gamma \left(\frac{3h}{4} \right) \left(\frac{h}{2} \times b \right) = \frac{3\gamma h^2 b}{8},$$

$$y_{R_2} = \frac{I_{xc}}{y_c A} + y_c = \frac{\frac{1}{12} b (h/2)^3}{\left(\frac{3h}{4} \right) \left(\frac{h}{2} b \right)} + \frac{3h}{4} = \frac{28}{36} h$$

根据力矩平衡原理, 有:

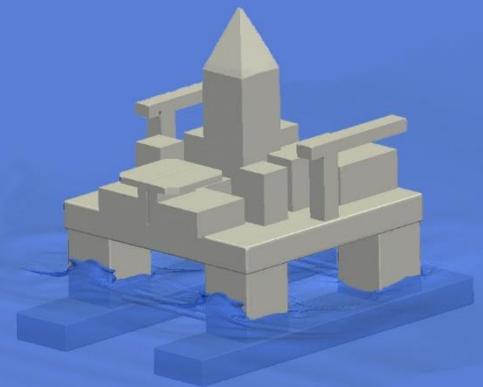
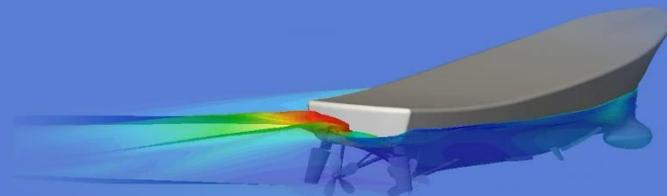
$$F_B h = F_{R_2} \left(\frac{28}{36} h \right)$$

所以有: $F_B = \frac{3\gamma h^2 b}{8} \left(\frac{28}{38} \right) = \frac{7}{24} \gamma h^2 b = \frac{7}{8} R = 0.875 R$



CMHL COMPUTATIONAL MARINE HYDRODYNAMICS LAB
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

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



*部分素材来源于网络