

## Chapter 15 Fluid Statics

潜水世界纪录  $\left\{ \begin{array}{l} 51.2\text{m (无潜水呼吸器)} \\ 350\text{m (带潜水呼吸器 + 潜水装置)} \end{array} \right.$

一个带水下呼吸器的潜水初学者在游泳池中训练时会意外死亡，其原因是什么？

物质形态：

	分子, 原子 间距	形状	流动性	可压缩性	承受外界作用力			
					压力	张力	剪切力	
固态	小	固定	×	×	√	√	√	} 固体
液态	较小	不固定	√	×	√	√	×	
气态	大	不固定	√	√	√	√	×	} 流体 ↓ 无剪切应力

在液体中的任意表面，只能承受与表面垂直的力，剪切力将造成液体元的相对运动。

力  $\longleftrightarrow$  液体  $\left\{ \begin{array}{l} \text{同样大小的力作用在不同面积上，其作用效果不同！} \\ \text{不同大小的力作用在同等面积上，其作用效果不同！} \end{array} \right. \}$  容易确定

但不同大小的力分别作用在不同的面积，其作用效果不同！ 不易确定

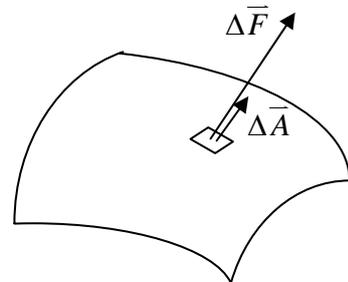
压强：

引入一个与力和面积有关的物理量，——标量 压强

取一小面积元  $\Delta\vec{A}$  矢量，大小为其面积，方向为法线

所受的力  $\Delta\vec{F}$  与  $\Delta\vec{A}$  同向，故  $\Delta\vec{F} = p\Delta\vec{A}$

压强：  $p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{F}}{\Delta\vec{A}}$ ， 单位：Pascal 帕斯卡，  $N/m^2$ ， Pa



密度:  $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \xrightarrow{\text{匀质}} \frac{m}{V}$

体积模量:  $B \quad p \uparrow \longrightarrow V \downarrow$

$$\Delta p \sim \Delta V \quad \Delta p = -B \frac{\Delta V}{V} \quad B = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V} \quad \text{正值}$$

↓  
量纲与压强一致

$B$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{大, 不可压缩} \\ \text{小, 可压缩} \end{array} \right.$

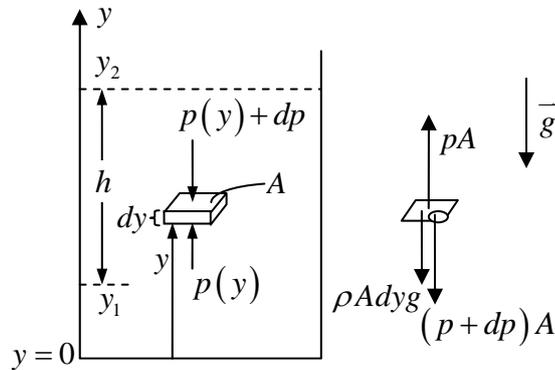
水:  $B = 2.2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ , 若  $\frac{\Delta V}{V} = -10\%$ ,  $\Delta p = 2.2 \times 10^8 \text{ N/m}^2 \approx 2200 \text{ atm}$  (大气压)

### 静态流体压强变化规律

流体元静止:  $\sum F_y = 0$

$$pA - \rho A dy g - (p + dp)A = 0$$

$$\frac{dp}{dy} = -\rho g$$



$$dp = -\rho g dy \quad \text{积分} \quad (p_2 - p_1) = -\rho g (y_2 - y_1) = -\rho g h$$

$$p_1 = p, \quad p_2 = p_0, \quad p = p_0 + \rho g h$$

↓  
上部 高为  $h$  的液体柱  
压强 所产生的压强

表明 水下越深, 压强越大

**例题:** 带水下呼吸器的潜水者, 在上浮的过程中必须呼气。若不呼气, 在浮出水面时肺将承受内外压差  $\Delta p$ , 当  $\Delta p = 9.3 \text{ KPa}$  时, 肺将破裂  $\rightarrow$  导致死亡。他下沉多深有此风险?

**解:**  $p = p_0 + \rho g h \quad p - p_0 = 9.3 \text{ KPa}$

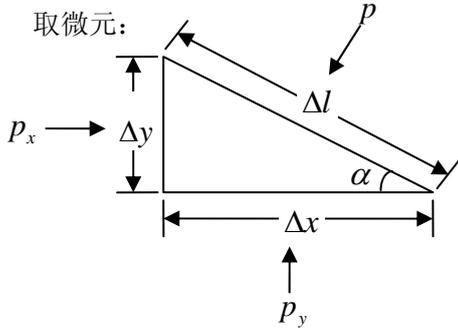
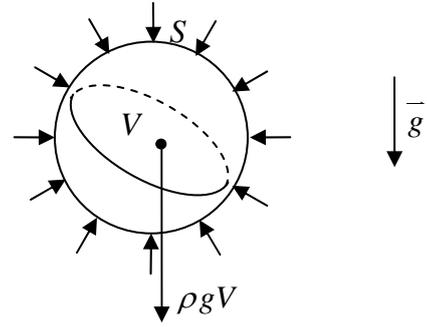
$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{9300 \text{ Pa}}{10^3 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2} \approx 0.95 \text{ m}$$

不到一米!

水下的压力方向与所取面积方向有关，大小与所取方向无关

证明：  $\oint_S p d\vec{S} + \int_V \rho g dV = 0$  合力为零

静止流体平衡方程



$\Delta m$  质量  
 $= \Delta x \Delta y \Delta z \rho$

$$p_x \Delta y \Delta z - p \Delta l \Delta z \sin \alpha = 0$$

$$p_y \Delta x \Delta z - p \Delta l \Delta z \cos \alpha - \Delta m g = 0 \quad \Delta m \text{ 三级小量, 忽略}$$

$$p_x \Delta y = p \Delta l \sin \alpha = p \Delta y \quad p_x = p$$

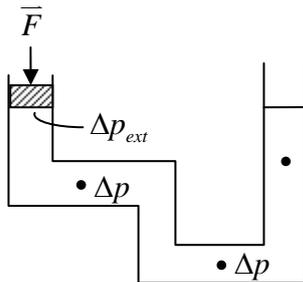
$$p_y \Delta x = p \Delta l \cos \alpha = p \Delta x \quad p_y = p \quad p \text{ 任取}$$

同理  $p_z = p$

**帕斯卡原理：**

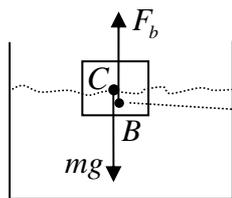
加在封闭流体里的压强不减少地传递到流体内任何地方以及容器壁。

$$\Delta p_{ext} = \Delta p$$



**阿基米德原理：**

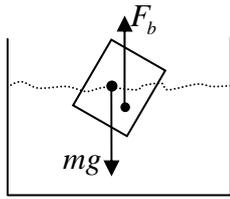
完全或部分浸在液体中的物体承受一个大小与所排开流体重力大小相等的浮力。



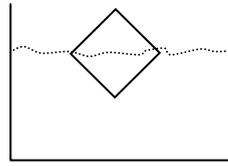
$$F_b = mg$$

浮心，所排开液体的重心  
 浮力通过浮心，重力通过重心

平衡  
 稳定？



恢复力矩 → 稳定



平衡吗?  
是什么平衡?