第三章 一元流体动力学基础

流体动力学研究的主要问题是：

流速和压强在空间的分布。

其中，流速更加重要。

流体流动时的压强：

流体流动时的压强和流体静压强，一般在概念和命名上不予区别，一律称为压强。

第一节　描述流体运动的两种方法

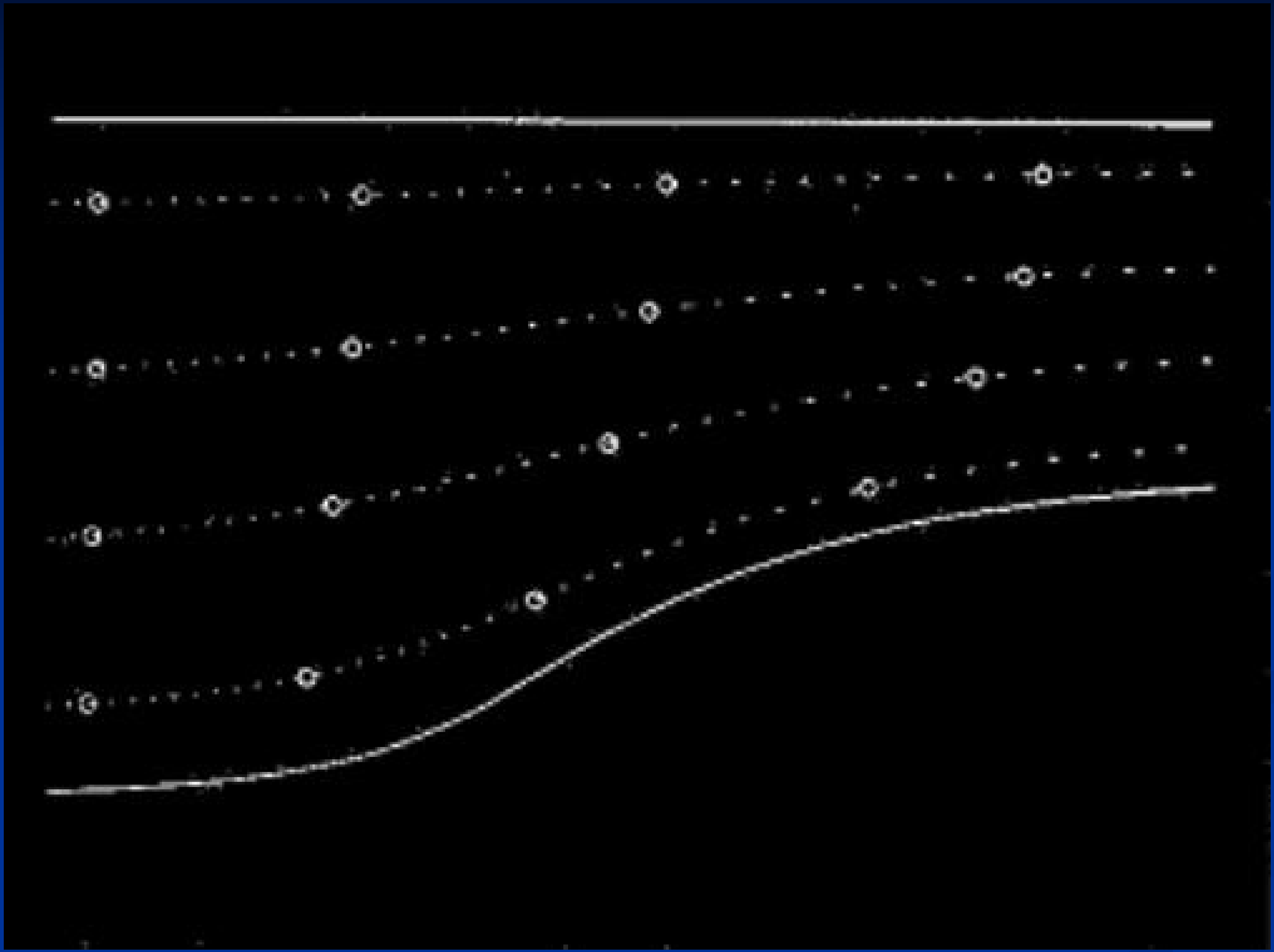
拉格朗日法、欧拉法

拉格朗日法：

通过描述每一质点的运动达到了解流体运动的方法。

$$\begin{cases} x = x(a,b,c,t) \\ y = y(a,b,c,t) \\ z = z(a,b,c,t) \end{cases}$$

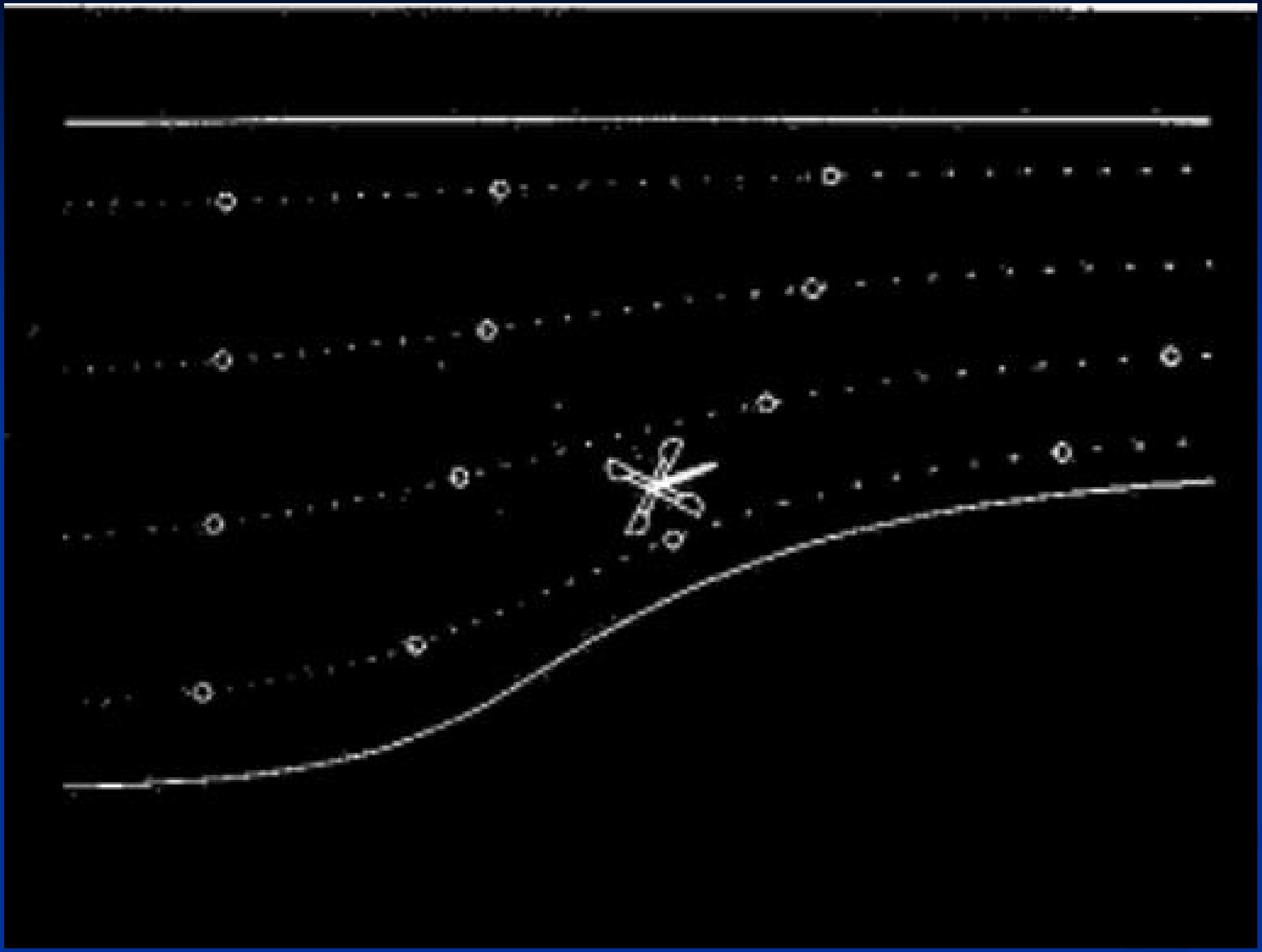
$$\begin{cases} u_x = \dfrac{\partial x(a,b,c,t)}{\partial t} \\ u_y = \dfrac{\partial y(a,b,c,t)}{\partial t} \\ u_z = \dfrac{\partial z(a,b,c,t)}{\partial t} \end{cases}$$



欧拉法：

通过描述物理量在空间的分布来研究流体运动的方法。

$$\begin{cases} u_x = u_x(x, y, z, t) \\ u_y = u_y(x, y, z, t) \\ u_z = u_z(x, y, z, t) \end{cases}$$



拉格朗日法与欧拉法的区别：

拉格朗日法：以一定的质点为研究对象。

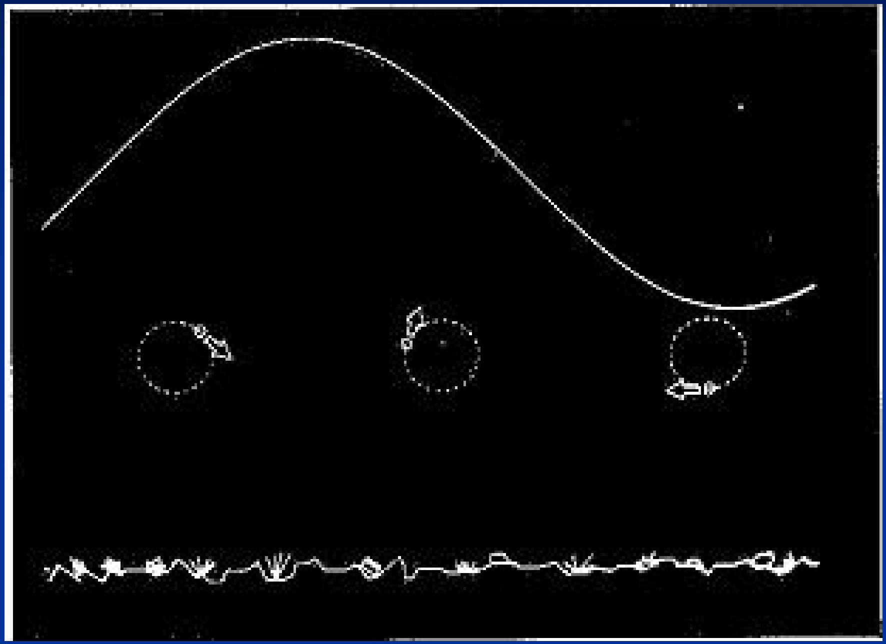
拉格朗日变量（a, b, c, t）

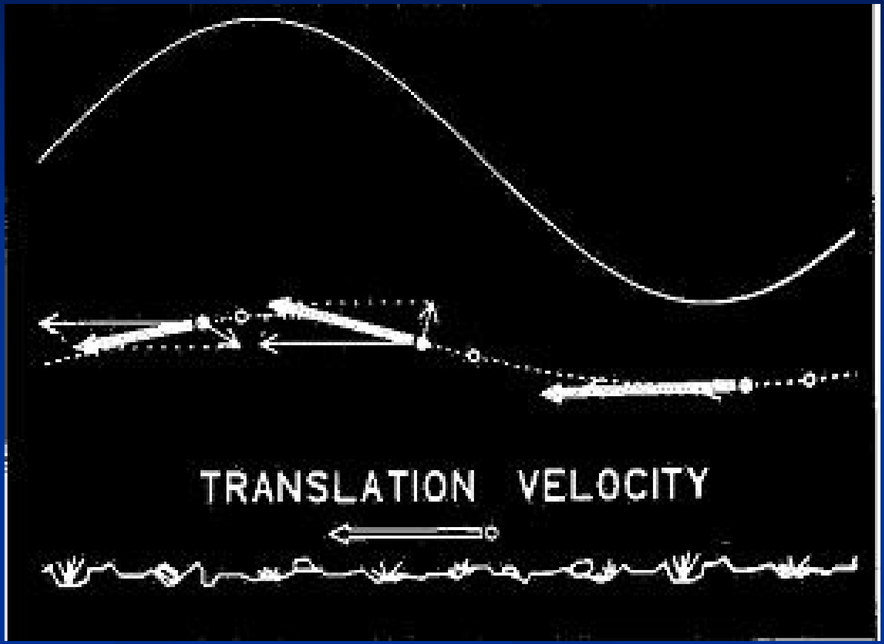
物理概念清晰，但处理问题十分困难

欧拉法：以固定空间点为研究对象。

欧拉变量（x, y, z, t）

只要对流动的描述是以固定空间、固定断面或固定点为对象，应采用欧拉法



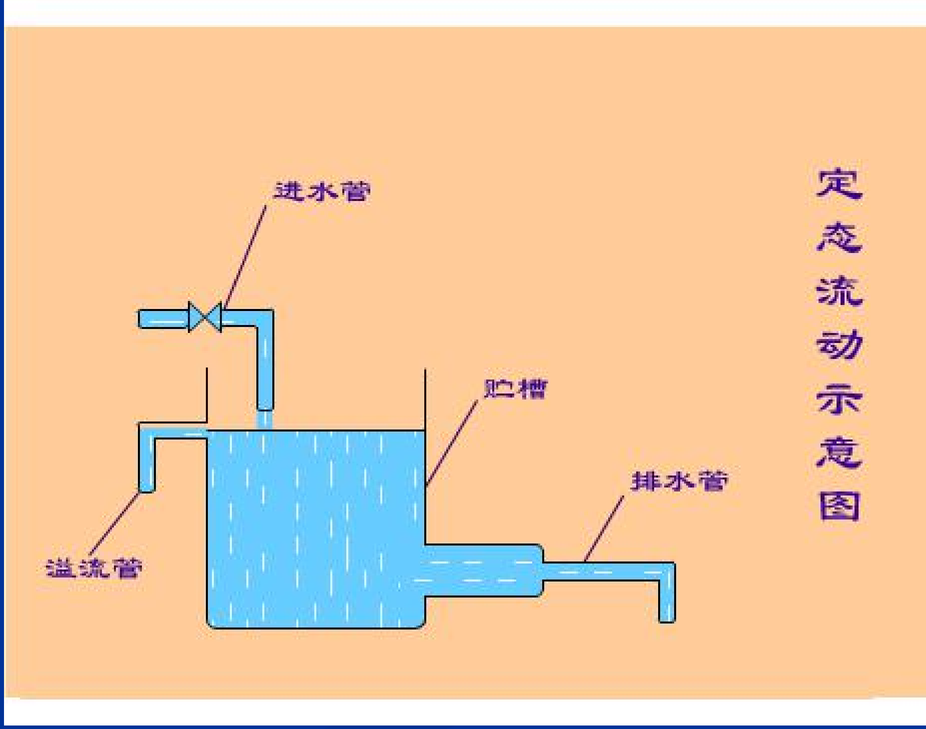

TRANSLATION VELOCITY

第二节　恒定流动和非恒定流动

恒定流动：

指流场中流动参数不随时间变化而改变的流动。

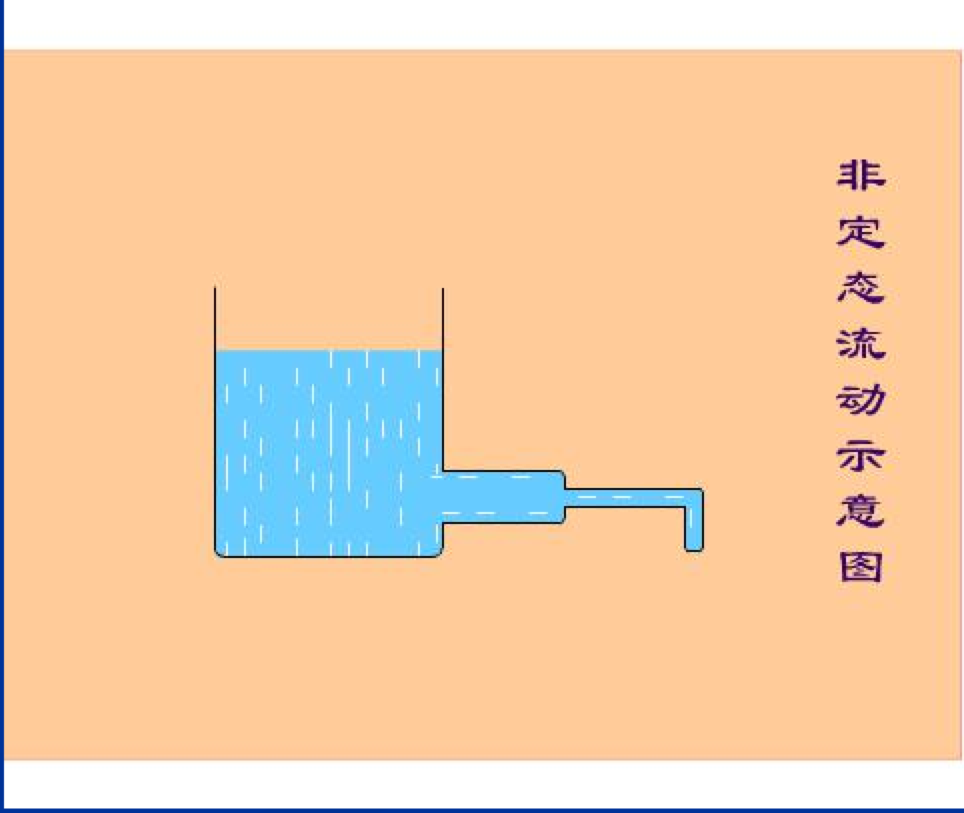
$$
\begin{cases}
u_x = u_x(x, y, z) \\
u_y = u_y(x, y, z) \\
u_z = u_z(x, y, z) \\
p = p(x, y, z)
\end{cases}
$$



非恒定流动：

若流场中的流动参数的全部或其中之一与时间变化有关，即**随时间变化而改变**，则这类流场的流动称为非恒定流。

$$
\begin{cases}
u_x = u_x(x, y, z, t) \\
u_y = u_y(x, y, z, t) \\
u_z = u_z(x, y, z, t) \\
p = p(x, y, z, t)
\end{cases}
$$



流场有两种特例：

流场中的速度、压强、密度、温度等物理量的分布与时间无关。

定常场、定常流动、恒定流动

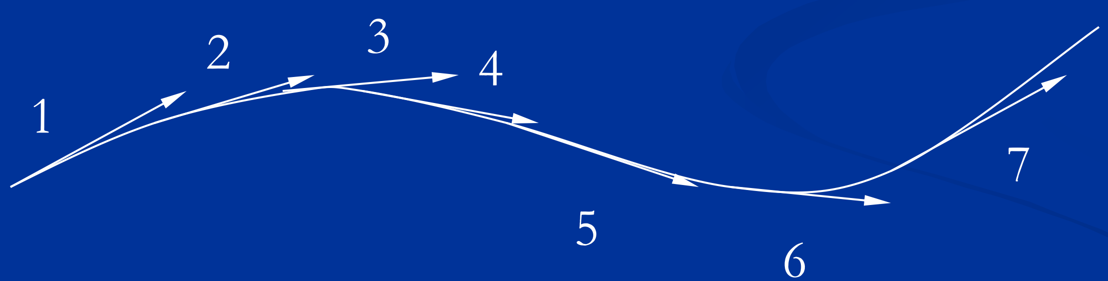
流场中的速度、压强、密度、温度等物理量的分布均与空间坐标无关。

均匀场、均匀流动

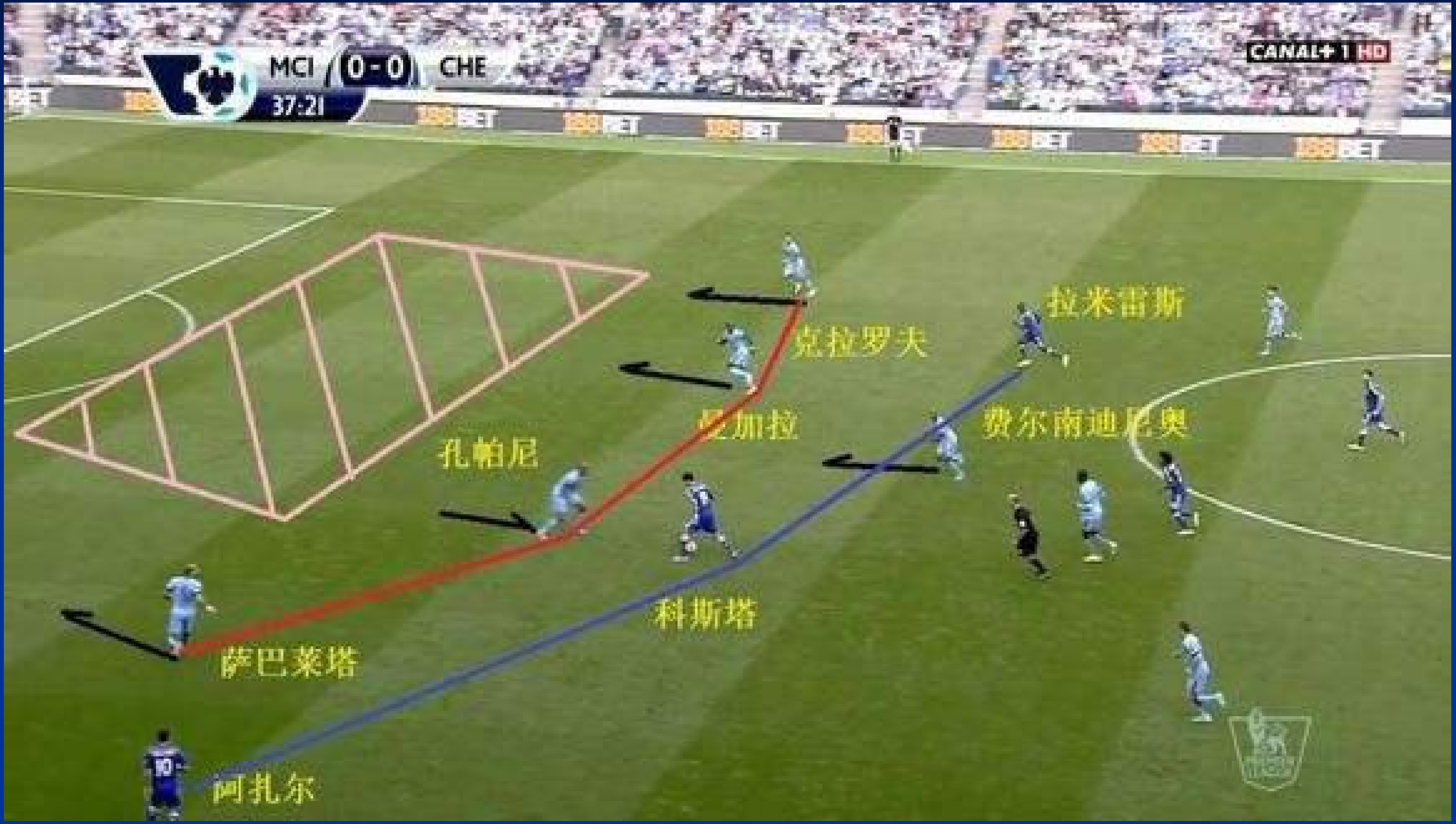
第三节　流线和迹线

流线：

在某一时刻，各点的切线方向与通过该点的流体质点的流速方向重合的空间曲线称为流线。



流线的定义


MCI 0-0 CHE
37:21
CANAL+1 HD
拉米雷斯
克拉罗夫
曼加拉
费尔南迪尼奥
孔帕尼
科斯塔
萨巴莱塔
阿扎尔

迹线：

同一质点在各不同时刻所占有的空间位置联成的空间曲线称为迹线。

流线是欧拉法对流动的描述。

迹线是拉格朗日法对流动的描述。

在流场中如何显示流线、迹线呢？请设计显示方案


AIG
11111
15:11

流速的大小可以由流线的疏密程度反映。

流线越密处流速越大
流线越稀疏处流速越小

流线的特性：

恒定流中流线形状不随时间变化，而且流体质点的迹线与流线重合。

实际流场中，除驻点外，流线不能相交，不能突然转弯。

第四节　一元流动模型

流管：在流场中任意画出一条封闭曲线（曲线本身不能是流线），经过曲线上每一点作流线，则这些流线组成一个管状的表面，称为流管。

流束：流管以内的流体称为流束。

流束

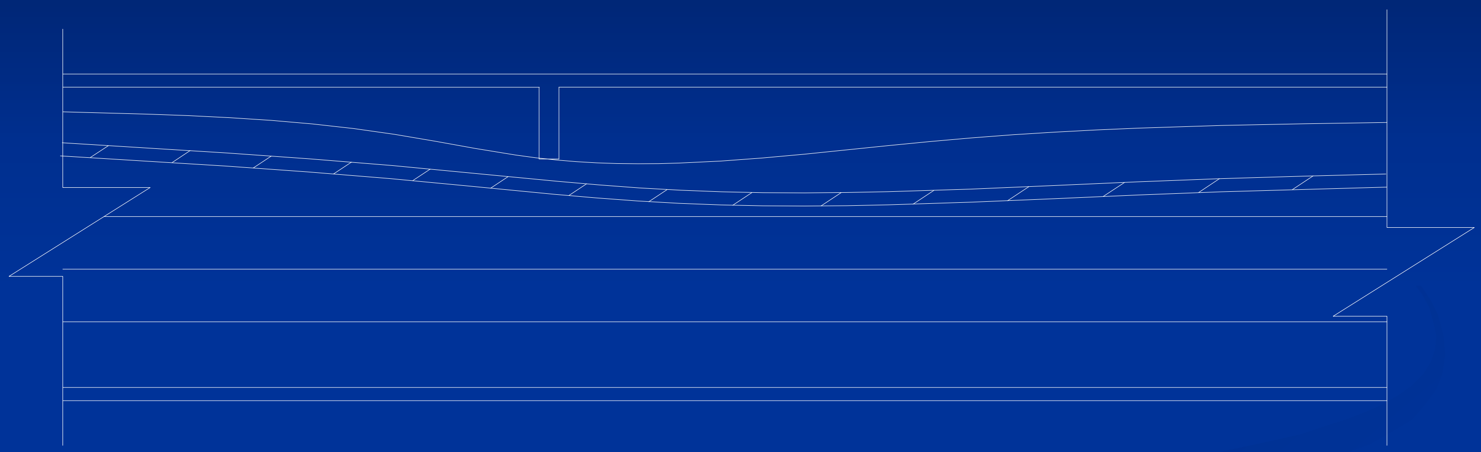
过流断面：

垂直于流束的横断面，称为过流断面。

当流线互相平行时，过流断面为平面；
当流线不互相平行时，过流断面为曲面。

元流：过流断面无限小的流束称为元流。

总流:用以输送流体的管道流动, 由于流场具有长形流动的几何形态, 整个流动可以看作无数元流相加, 这样的流动总体称为总流。



元流是总流的一个微分流动

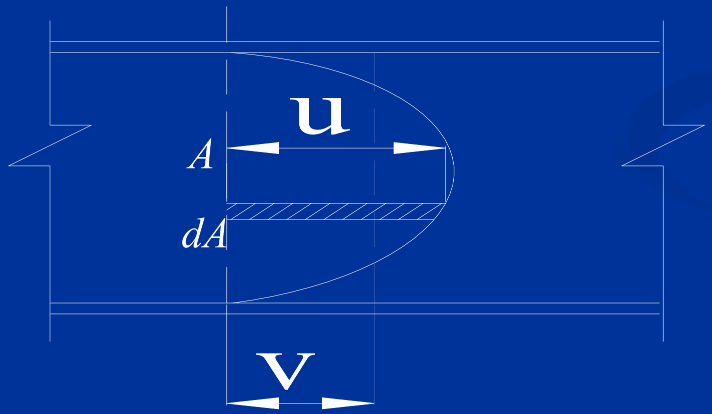
提问：

- 流体平衡微分方程是怎样的？说明什么问题？
- 描述流体运动的两种方法是什么？
- 什么是恒定流？
- 什么是流线和迹线？
- 流线有什么性质?
- 什么是流管、流束？
- 什么是过流断面？

总流过流断面上的流速一般是不相等的。

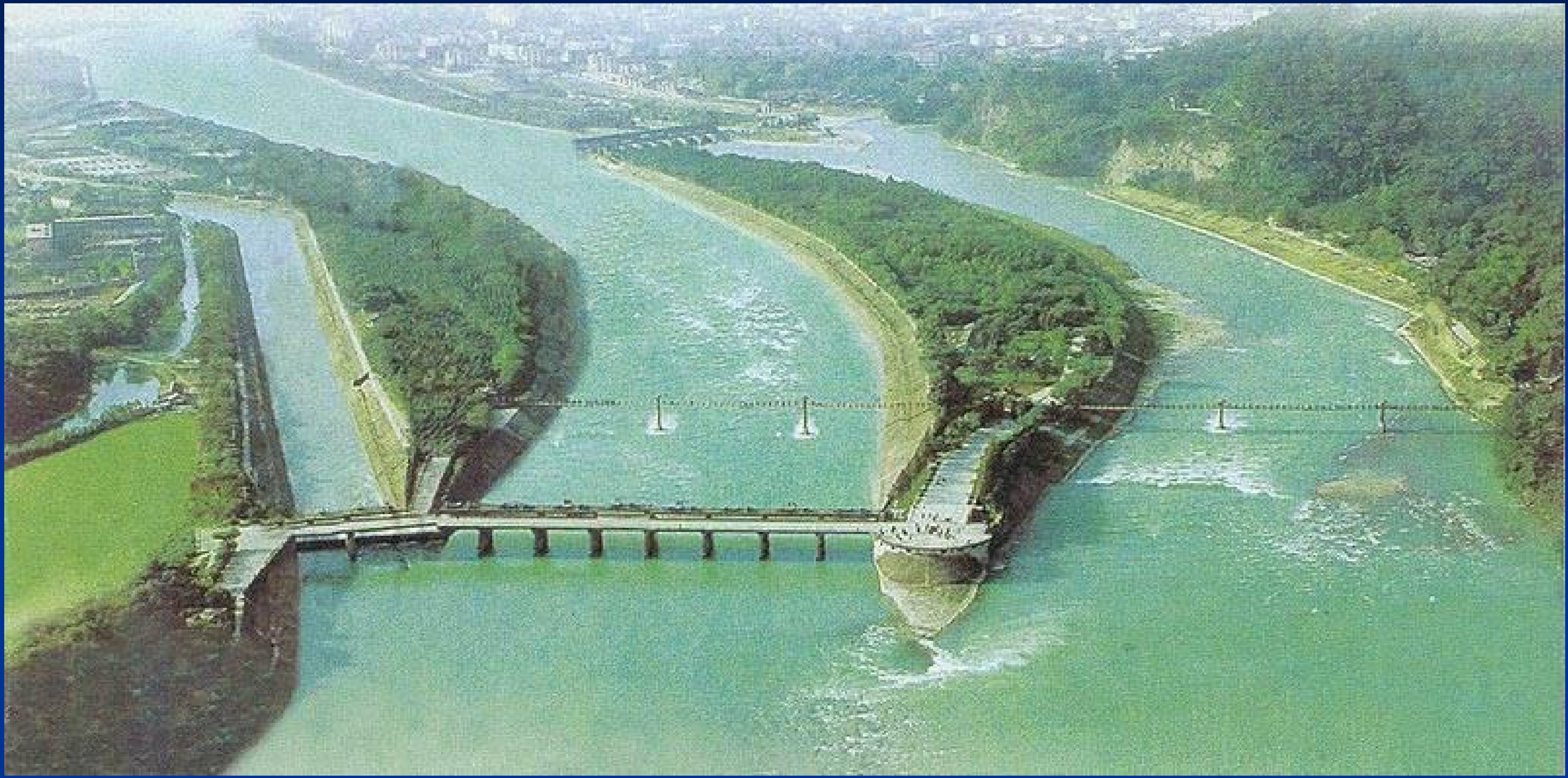
断面平均流速：

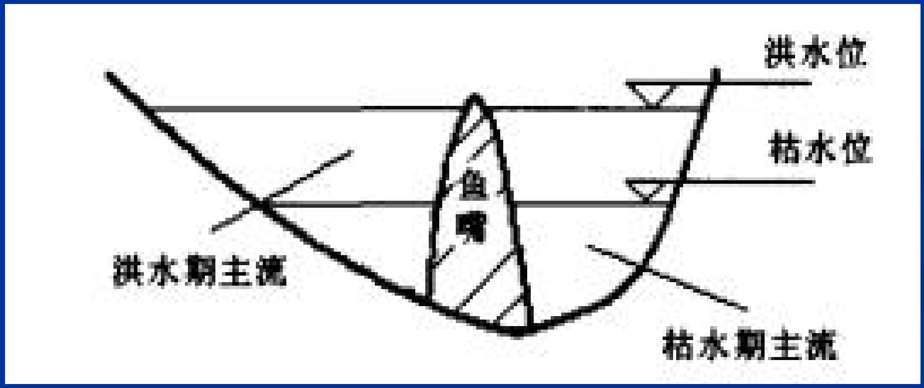
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\int_A u dA}{A}$$



断面平均流速

一些特殊形状的断面的作用-分流





第五节　连续性方程

在总流中，断面平均流速沿流向如何变化呢？

在恒定流时，两断面间流动空间内流体质量不变，由质量守恒定律，流入断面1的流体质量必等于流出断面2的流体质量。

$$\rho_1 Q_1 dt = \rho_2 Q_2 dt$$

对可压缩流体： $\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

对不可压缩流体： $Q_1 = Q_2$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

在不可压流体一元流动中，平均流速与断面积成反比关系

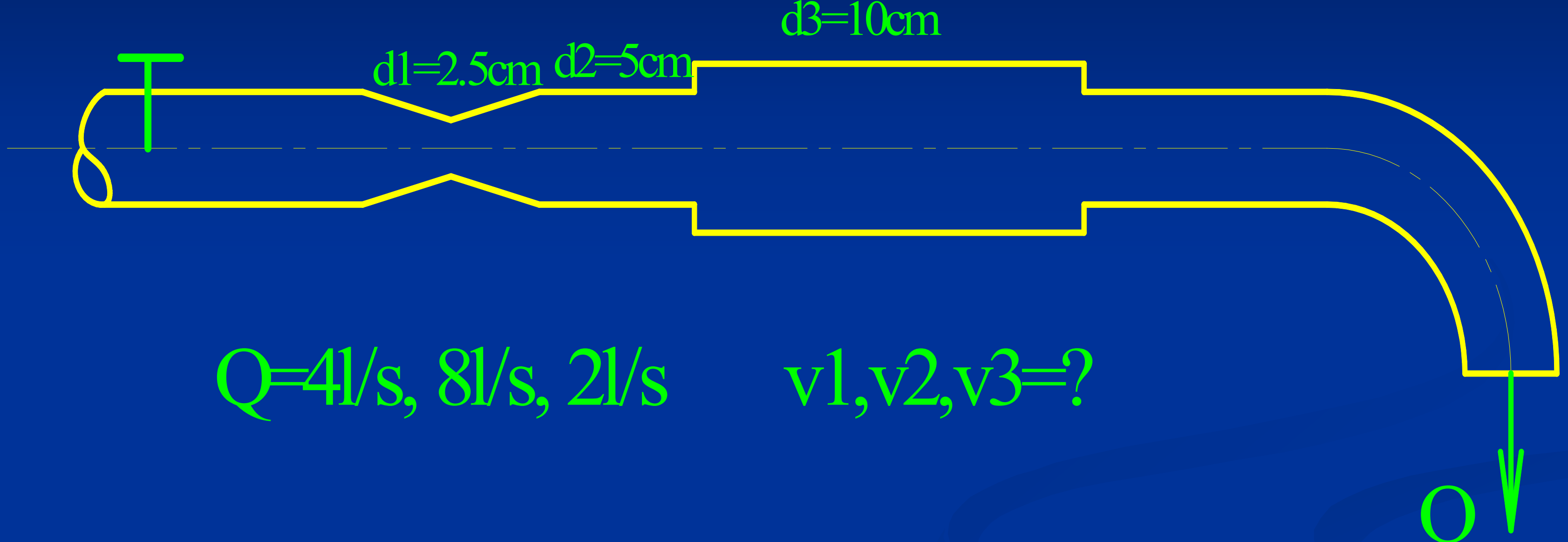
$$Q_1 = Q_2 = \cdots\cdots = Q$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = \cdots\cdots = vA$$

$$v_1 : v_2 : \cdots\cdots v = \frac{1}{A_1} : \frac{1}{A_2} : \cdots\cdots \frac{1}{A}$$

连续性方程确立了**总流各断面平均流速沿流向的变化规律**

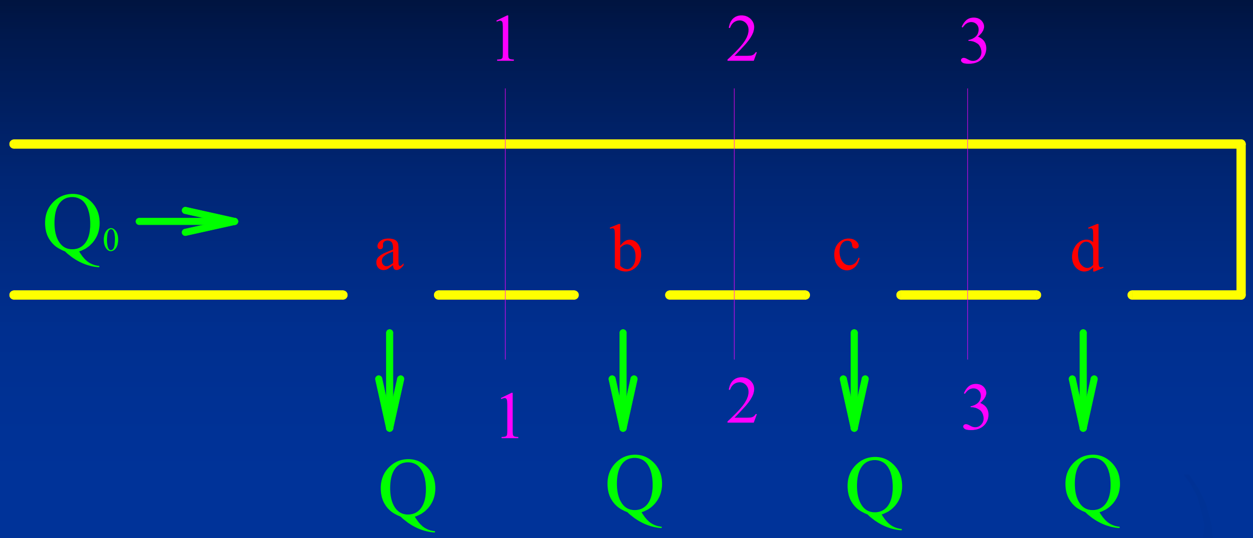
- 例3-1



Q=4l/s, 8l/s, 2l/s　　v1,v2,v3=?

$$Q = vA \qquad v = \frac{Q}{A}$$

■例3-2



送风管断面50cm*50cm, 送风口40cm*40cm, 送风口气流平均速度5m/s,, 求1-1, 2-2, 3-3各断面的流速和流量。

$$Q = vA \qquad v = \frac{Q}{A}$$

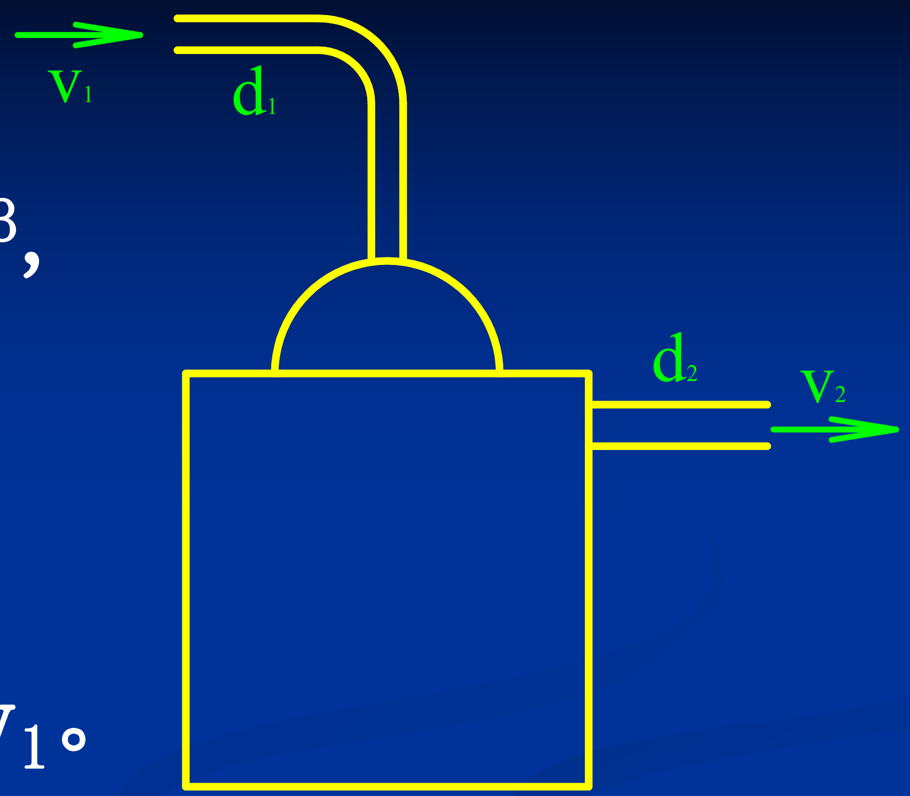
例3-3

$d_1=76.2\text{mm}$, $\rho_1=4\text{kg/m}^3$,

$d_2=38.1\text{mm}$, $v_2=10\text{m/s}$,

$\rho_2=20\text{kg/m}^3$, 求：

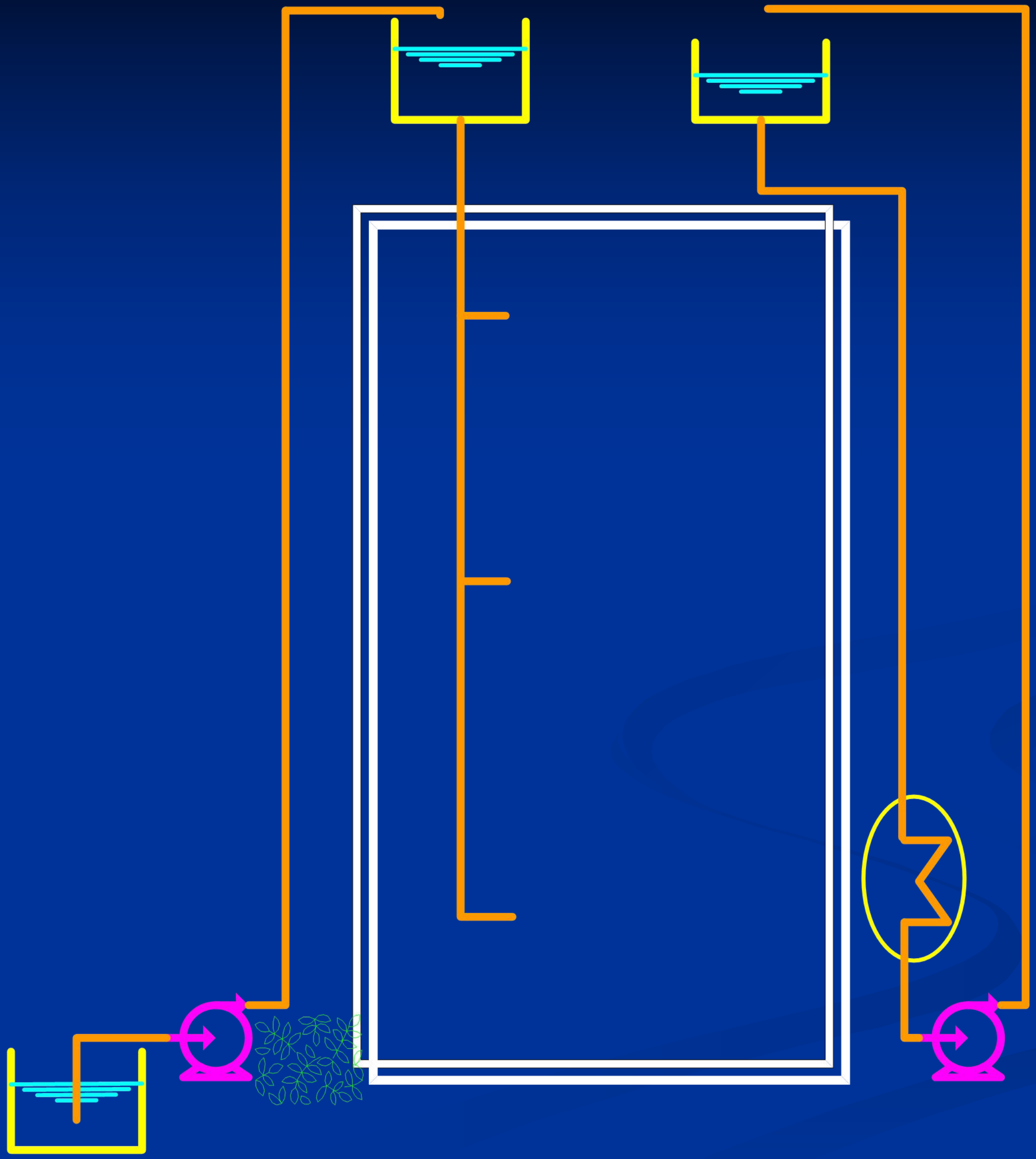
质量流量和流入流速v_1。



$$G=\rho Q=\rho_2 v_2 A_2$$

$$\rho_1 v_1 A_1=\rho_2 v_2 A_2$$

流动中的能量问题



第六节　恒定元流能量方程

密度为常数

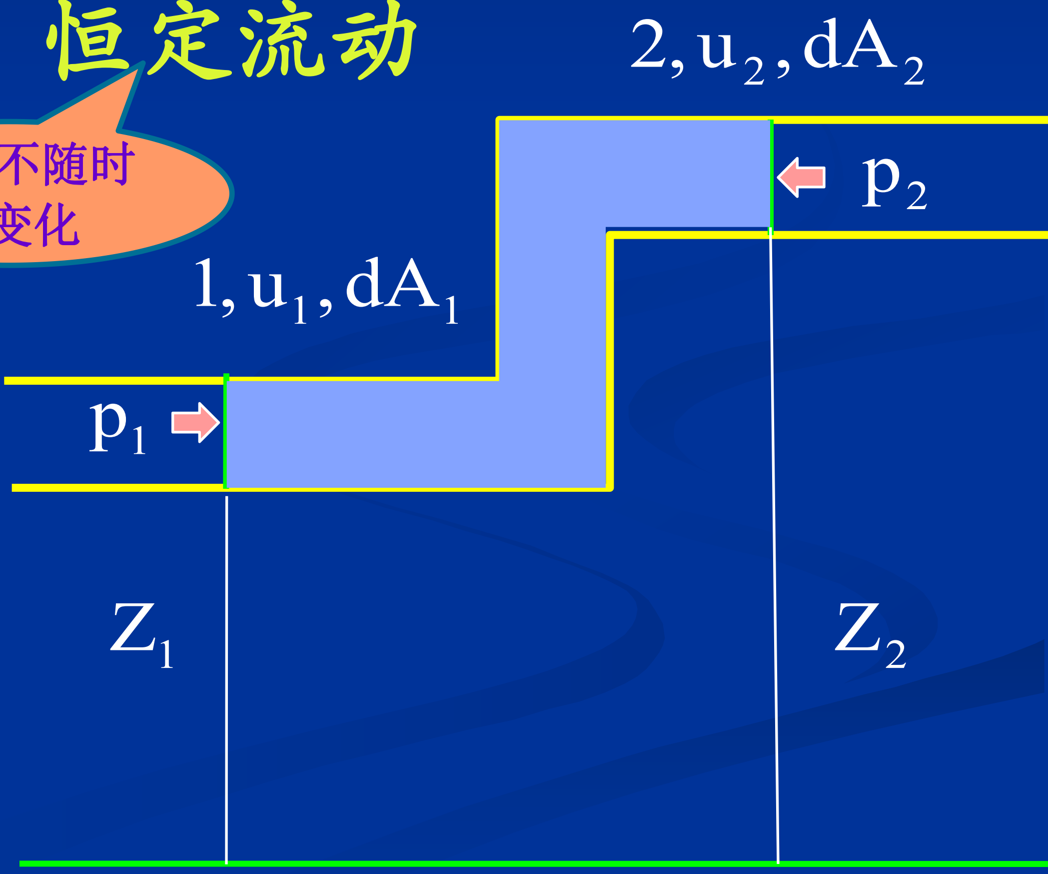
流动模型：理想不可压缩流体一元恒定流动

无粘性

u、p不随时间变化

体积流量

以元流中的一段流体为研究对象



1 流动中的能量变化

位能 mgh

动能 $\frac{mu^2}{2}$

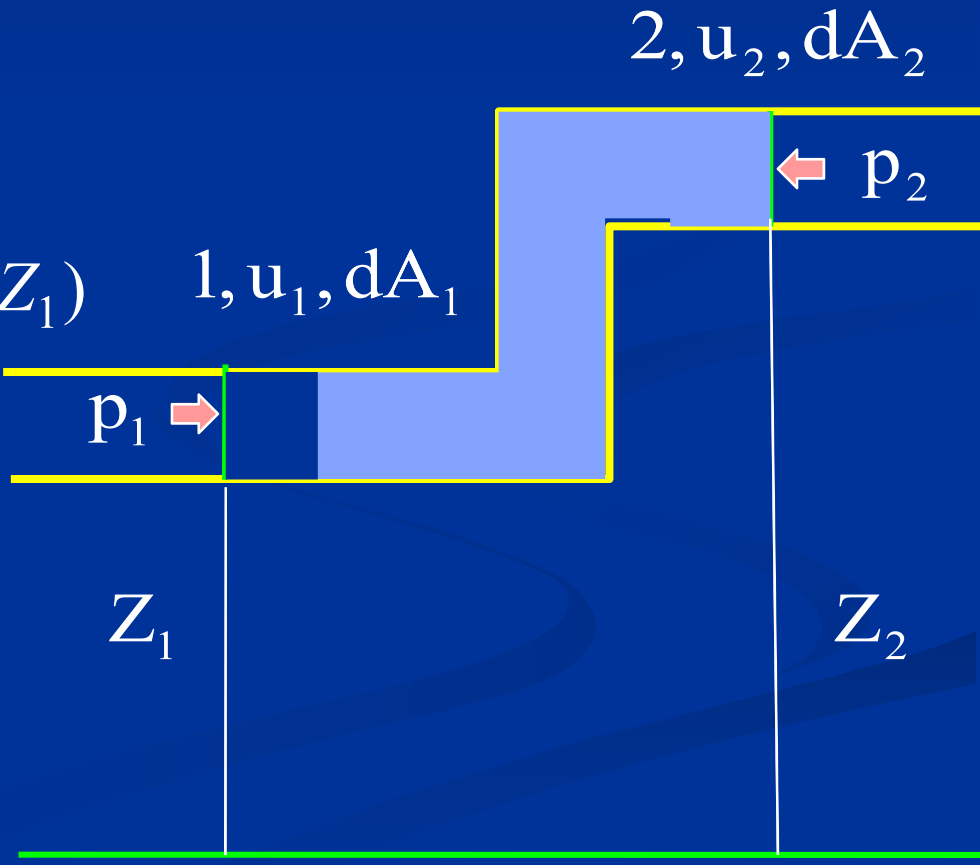
流体的能量 $m(\frac{u^2}{2}+gh)$

能量增量

$$\gamma dQdt(\frac{u_2^{\ 2}}{2g}+Z_2)-\gamma dQdt(\frac{u_1^{\ 2}}{2g}+Z_1)$$

压力做功

$$(p_1\text{-}p_2)dQdt$$



2 能量平衡方程的建立

外力做功=系统能量的增量

$$(p_1 - p_2) = \qquad (Z_2 + \frac{u_2^2}{2g}) - \qquad (Z_1 + \frac{u_1^2}{2g})$$

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

3 元流能量平衡方程及其意义

- 理想不可压缩流体恒定流元流能量平衡方程

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

伯努利方程：

$$\frac{\mathrm{p}}{\gamma}+\mathrm{Z}+\frac{\mathrm{u}^2}{2\mathrm{g}}=\mathrm{C}$$

$$\frac{p}{\gamma}+Z+\frac{u^2}{2g}=C$$

Z，**位置水头**：断面对于选定基准面的高度。表示单位重量的位置势能，称为单位位能。

p/γ，**压强水头**：断面压强作用使流体沿测压管所能上升的高度。表示压力做功所能提供给单位重量流体的能量，称为单位压能。

$u^2/2g$，**流速水头**：以断面流速为初速的铅直上升射流所能达到的理论高度。表示单位重量的动能，称为单位动能。

表明单位重量流体具有的势能，称为单位势能

测压管水头

压强水头

$$H_p = Z + \frac{p}{\gamma}$$

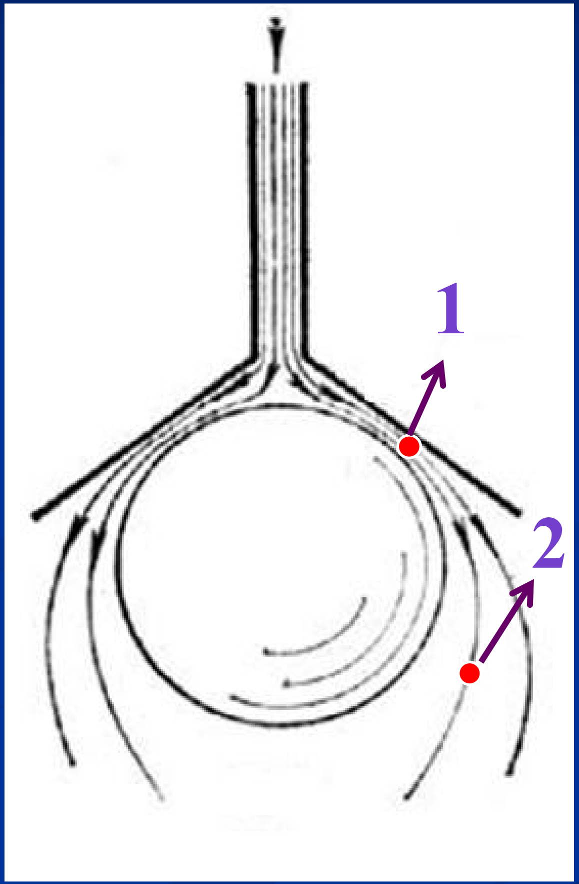
速度水头

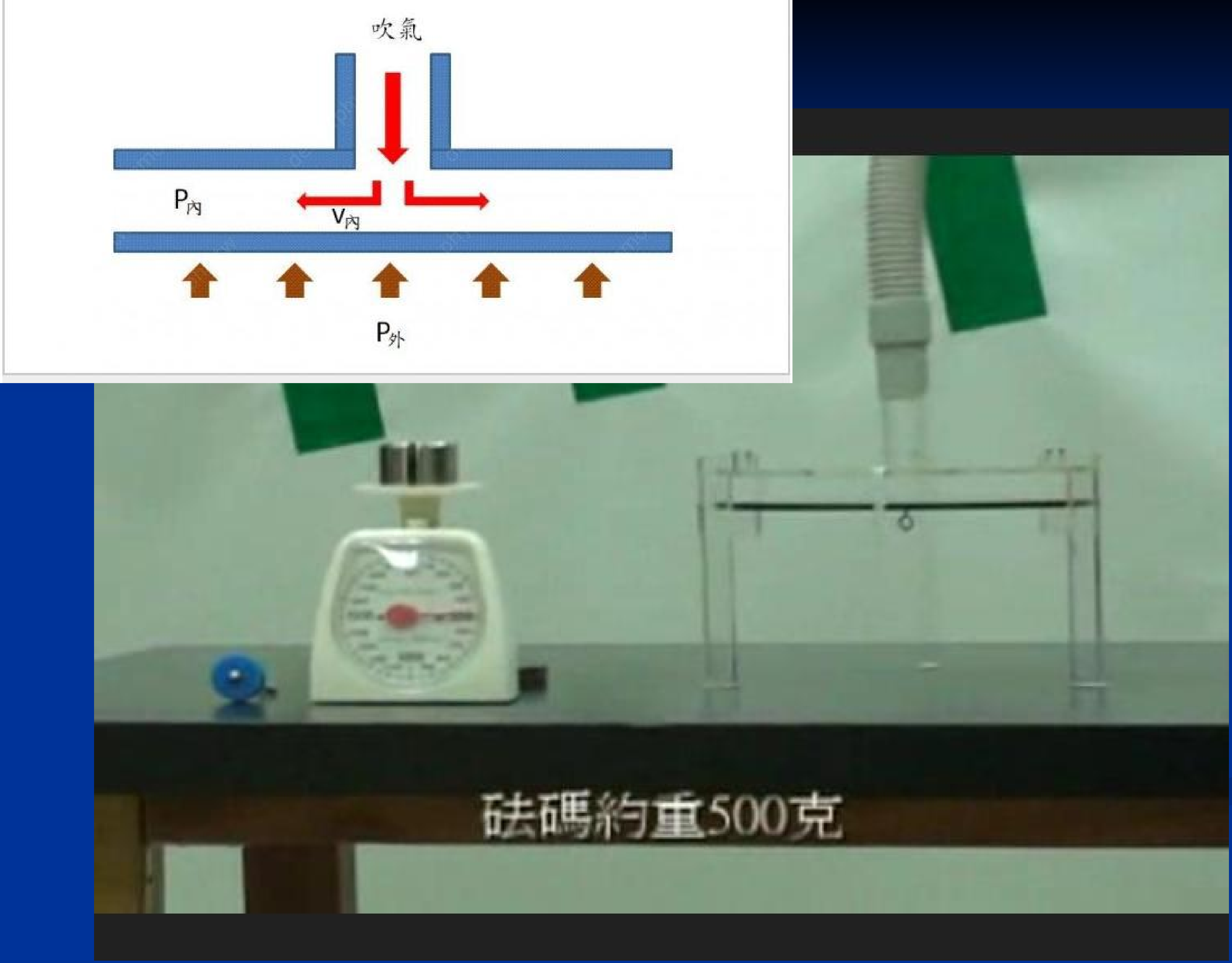
位置水头

总水头，表明单位重量流体具有的总能量，称为单位总能量

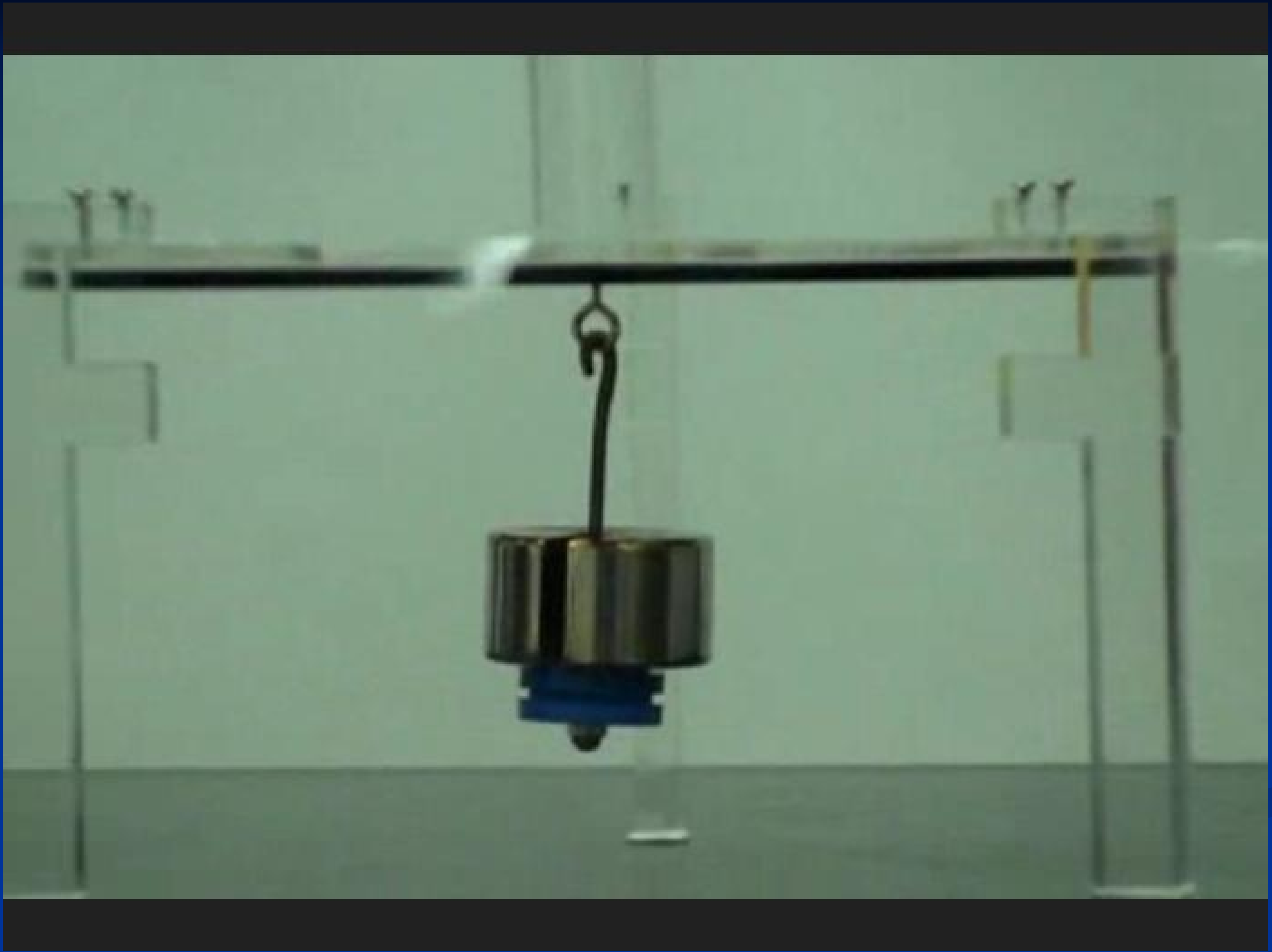
$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$$

想一想？



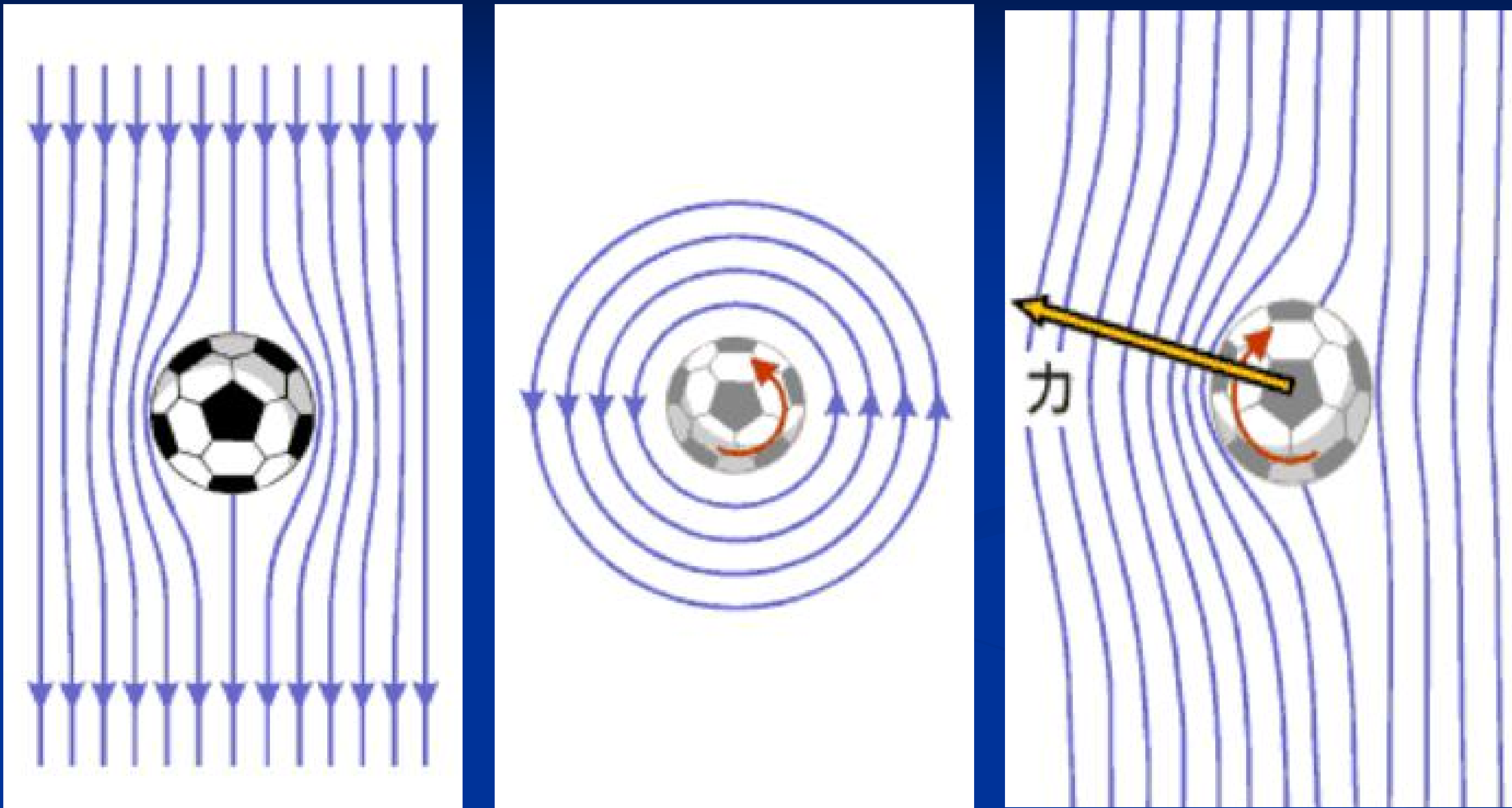


吹氣
P內
V內
P外
砝碼約重500克



运动中的流体力学原理

请根
据伯
努利
方程
分析
香蕉
球的
形成


力

想一想？？

实际不可压缩流体恒定流元流能量平衡方程

实际流体的流动中，由于粘性力的存在，单位能量方程式为：

$$\frac{p_1}{\gamma}+Z_1+\frac{u_1^2}{2g}=\frac{p_2}{\gamma}+Z_2+\frac{u_2^2}{2g}+h_{l1-2}^{'}$$

表明单位重量流体具有的势能，称为单位势能

测压管水头

压强水头

$$H_p = Z + \frac{p}{\gamma}$$

位置水头

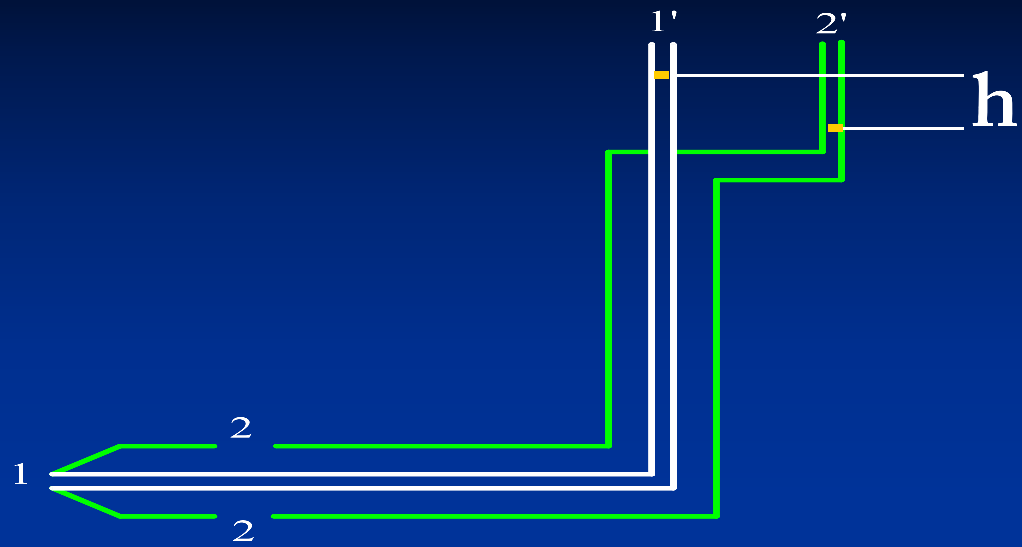
总水头，表明单位重量流体具有的总能量，称为单位总能量

$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$$

能量方程式说明：理想不可压缩流体恒定流动中，各断面**总水头相等**，单位重量的总能量保持不变。

实际流体的流动中，由于粘性力的存在，单位能量方程式为：

$$\frac{p_1}{\gamma}+Z_1+\frac{u_1^2}{2g}=\frac{p_2}{\gamma}+Z_2+\frac{u_2^2}{2g}+h_{l1-2}^{'}$$



毕托管

$$\frac{p_1}{\gamma}+0=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{u^2}{2g}$$

$$u=\sqrt{2g\frac{p_1-p_2}{\gamma}}$$

$$u=\varphi\sqrt{2gh}$$

如果用毕托管来测定气流流速，则：

$$u=\varphi\sqrt{2g\times\frac{\gamma'}{\gamma}h}$$

（γ '液体容重）
（γ　气体容重）

■例3-4

用毕托管测定1、空气流速，2、水流速。两种情况均测得水柱3cm，空气容重11.8N/m³，φ值取1，分别求空气和水的流速。

解：1、 $u=\varphi\sqrt{2gh}$

2、$u=\varphi\sqrt{2g\dfrac{p_1-p_2}{\gamma}}$

$$u=\varphi\sqrt{2g\times\frac{\gamma^{'}}{\gamma}h}$$